IDENTIFICACIÓN PARAMÉTRICA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE SISTEMAS DINÁMICOS POR MÍNIMOS CUADRADOS RECURSIVOS

EDISON ALEJANDRO ALVAREZ PIMIENTO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2009

IDENTIFICACIÓN PARAMÉTRICA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE SISTEMAS DINÁMICOS POR MÍNIMOS CUADRADOS RECURSIVOS

EDISON ALEJANDRO ALVAREZ PIMIENTO

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Electrónico.

Director del proyecto:
Msc. Ingeniería Eléctrica
Edgar Barrios Urueña

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2009

Nota de aceptación:

____

____

____

____

____

____

____

Firma del Presidente del jurado

____

Firma del jurado

____

Firma del jurado

Bucaramanga, 23 de Julio de 2009

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres que fueron de gran apoyo en aquellos momentos difíciles y que hicieron grandes sacrificios para hacer de mí un gran profesional, de igual manera quiero dedicar este trabajo a mi abuela que con sabios consejos y voces de aliento me han animado para seguir adelante y lograr culminar este escalón de mi vida.

Edison Alejandro Alvarez Pimiento

AGRADECIMIENTOS

Quiero dar las gracias en primer lugar a Dios por el entendimiento y sabiduría que me dio para iniciar y poder culminar mis estudios como ingeniero electrónico.

A mi director de tesis, D. Edgar Barrios U, por su inapreciable ayuda y buenos consejos con el tema de la tesis, y que ahora culminan con la presentación de este trabajo.

A mis profesores por todos los conocimientos transmitidos, por su paciencia y dedicación para formar personas integras.

A todas las personas que me han ayudado durante este tiempo.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS

Pág.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE ANEXOS

Pág.

RESUMEN

TITULO: IDENTIFICACIÓN PARAMÉTRICA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE SISTEMAS DINÁMICOS POR MÍNIMOS CUADRADOS RECURSIVOS

AUTOR: EDISON ALEJANDRO ALVAREZ PIMIENTO

FACULTAD: INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR: EDGAR BARRIOS URUEÑA

Esta tesis dirigió su esfuerzo investigador, principalmente, a estudiar y aplicar el método de identificación recursivo con mínimos cuadrados para obtener el modelo matemático de un sistema lineal. El método se aplicó para obtener el modelo de la velocidad de un motor DC en función del voltaje aplicado. El método de identificación está basado en un algoritmo de mínimos cuadrados para la estimación de parámetros; el modelo resultante se expresa como función de Transferencia. Este método es muy apropiado para su uso en la identificación de sistemas dinámicos.

Como parte complementaria del Proyecto se estudió Matlab y Labview; Matlab y Labview se usaron para realizar un programa que desarrolla el algoritmo de mínimos cuadrados recursivos. También se estudió el manejo del módulo de adquisición de datos USB 6009 de National Instruments y el manejo del osciloscopio digital Fluke para la adquisición de datos. La adquisición de datos se realizó con el módulo Ni 6009 y en osciloscopio Fluke; los datos adquiridos fueron los de voltaje de entrada al motor del módulo de servomecanismos Feedback y su velocidad.

Los datos de entrada y salida del motor se llevaron al algoritmo de Mínimos cuadrados recursivos en Matlab y Labview y se obtuvo el modelo del motor, para cada caso, como función de transferencia.

PALABRAS CLAVES: MATLAB, LABVIEW, TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS USB 6009 NI, OSCILOSCOPIO DIGITAL FLUKE 123, MÍNIMOS CUADRADOS RECURSIVOS, IDENTIFICACIÓN DE SISTEMAS.

ABSTRACT

TITULO: IDENTIFICACIÓN PARAMÉTRICA DE MODELOS MATEMÁTICOS DE SISTEMAS DINÁMICOS POR MÍNIMOS CUADRADOS RECURSIVOS

AUTOR: EDISON ALEJANDRO ALVAREZ PIMIENTO
FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
DIRECTOR: EDGAR BARRIOS URUEÑA

This thesis focused its researching effort, mainly, to studying and applying the recursive identification method with least squares to obtain the math model of a lineal system. The method was applied to obtain the model of a DC motor's speed depending on the applied voltage. The identification method is based on a least squares algorithm for the estimation of parameters; the outcome model it is expressed as a Transfer Function. This method is very appropriated for its use in the identification of dynamics systems.
As complementary part of the project Matlab and LabVIEW were studied Matlab and LabVIEW were used to code a program that develops the algorithm of recursive least squares. The use of the Data Acquisition module (USB 6009) from National Instruments was also studied with the digital scope Fluke for data acquisition; the acquired data were motor voltage input (Feedback servo Fundamentals) and speed.
The input and output data of the motor were taken to the Recursive Least Squares algorithm in Matlab and LabVIEW and the model of the motor was obtained, for each case, as Transfer Function.

PALABRAS CLAVES: MATLAB, LABVIEW, DATA ACQUISITION MODULE USB 6009 NI, DIGITAL SCOPE FLUKE 123, RECURSIVE LEAST SQUARES, SYSTEM IDENTIFICATION.

INTRODUCCION

La Identificación de Sistemas trata el problema de obtener modelos matemáticos de Sistemas Dinámicos a partir de datos obtenidos del propio sistema. Conocido el modelo puede analizarse su comportamiento y mejorar su funcionamiento.

De esta manera el Proyecto se orientó a la aplicación del método de Identificación Paramétrica por Mínimos Cuadrados Recursivos al motor del módulo de servomecanismos Feedback del laboratorio de Control de la Facultad. Se estudió el servomotor, el módulo de USB 6009 de la National Instruments y el osciloscopio digital Fluke. Se adquirió unos pares de datos de entrada y salida del motor y se aplicaron a un programa de computación que aplica el algoritmo de Identificación Paramétrica de Mínimos Cuadrados Recursivos desarrollado en Matlab y Labview; el resultado de la estimación fue la función de transferencia del motor.

El Informe describe:

La tarjeta de adquisición de datos USB 6009 de National Instruments, el osciloscopio digital Fluke, el lenguaje de programación en Matlab y Labview y el módulo de servomecanismos Feedback.

El procedimiento seguido para aplicar el método de Identificación Paramétrica de Mínimos Cuadrados Recursivos para obtener el modelo matemático (función de Transferencia) del motor del módulo de servomecanismos Feedback.

El análisis del resultado.

1. OBJETIVOS

1.1 GENERAL

Estimar el modelo matemático de la velocidad del motor del servomotor feedback por medio de la identificación paramétrica por mínimos cuadrados recursivos.

1.2 ESPECÍFICOS

Hacer la adquisición de datos con la tarjeta NI 6009 y el osciloscopio digital Fluke a la velocidad del motor del servomotor feedback para adquirir los datos de entrada y salida.

Realizar el respectivo programa en el software de Matlab y Labview para estimar los parámetros del modelo matemático de la velocidad del motor del servomotor feedback aplicando el Método de Identificación de Parámetros por Mínimos cuadrados Recursivos.

El programa desarrollado se aplicará para estimar los cálculos parámetricos de la velocidad del servomotor feedback.

Analizar los resultados obtenidos y comparar él método aplicado por medio de los dos software Matlab y Labview y sus pertinentes conclusiones.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 IDENTIFICACIÓN

Se entiende por identificación el proceso de encontrar las ecuaciones matemáticas que rigen el comportamiento de un sistema, es decir, crear un modelo matemático del sistema físico real [4].

Construir modelos para sistemas desconocidos es un objetivo importante de la ingeniería de control. Estos modelos necesitan simular el comportamiento real en los casos en que existe un conocimiento previo limitado de la estructura del sistema [6].

Respecto a la identificación puede ser paramétrica cuando existe un modelo al que es necesario ajustarle algunos parámetros ó no paramétrica cuando se obtienen las ecuaciones del modelo partiendo de la respuesta al escalón o de la respuesta en frecuencia y en línea cuando el ordenador actúa en tiempo real como herramienta de la identificación o fuera de línea cuando los valores de las variables de entrada y salida se registran constituyendo los datos para un programa de ordenador diseñado para identificar al sistema [4].

2.2 MODELOS DE SISTEMAS DINÁMICOS

Cuando se trabaja con un modelo de un sistema, se tiene una cierta idea de cómo unas variables están relacionadas entre sí. Desde un punto de vista general, se puede decir que las relaciones observadas son un modelo del sistema.

Está claro que los modelos pueden venir dados por diferentes estructuras y con distintas formulaciones matemáticas. El uso deseado del modelo también determina el grado de sofisticación requerido [7].

De las metodologías utilizadas en el diseño de modelos, es importante comentar concretamente la diferencia entre dos de ellas.

La primera, denominada modelo físico, se basa en la utilización de las propiedades y leyes físicas del proceso estudiado para la construcción y definición del modelo.

La segunda, denominada identificación, consiste en expresar, mediante un modelo matemático, el comportamiento de un proceso [2].

Algunos de los enfoques desarrollados en la Identificación de Parámetros son los siguientes:

2.3 IDENTIFICACIÓN NO PARAMÉTRICA

Para su utilización no se supone ningún tipo de estructura para el modelo: no se emplea explícitamente un vector de parámetros en el modelo matemático, sino que se determinan características del sistema a partir del modelo matemático y en general, mediante el auxilio de funciones espectrales, haciendo uso de la información entrada-salida del sistema en cuestión [8].

2.4 IDENTIFICACIÓN PARAMÉTRICA

Se debe tener en cuenta una cierta estructura para el modelo, es decir, que seleccionando un modelo matemático y estableciendo un conjunto de parámetros a partir de la información de entrada-salida que caracterizan el modelo.

Los parámetros del modelo se calculan minimizando ciertos criterios de error entre el modelo y el proceso.

Uno de los métodos utilizados en identificación de parámetros es el de Identificación paramétrica por Mínimos Cuadrados Recursivos. Con éste método es posible realizar el ajuste de los parámetros en cada intervalo de tiempo.

2.5 METODO DE MÍNIMOS CUADRADOS RECURSIVOS

Se espera que exista una matriz de covarianza que debe evolucionar conforme aumenta la cantidad de mediciones de manera tal que el error en la estimación pueda ser minimizado cuando el conjunto de muestras sea lo suficientemente grande.

Se tiene una función de costo de la forma:

$$J(\theta,k) = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{k}\left(y(i) - \phi\big(x(i)\big)\theta(k)\right)^2 \qquad (1)$$

Y la matriz de covarianza:

$$P^{-1}(k) = \sum_{i=1}^{k}\phi\big(x(i)\big)\phi\big(x(i)\big)^T \qquad (2)$$

Si se saca el último término de la inversa de P(k) se tiene:

$$P^{-1}(k) = \sum_{i=1}^{k-1} \phi(x(i))\phi(x(i))^T + \phi(x(k))\phi(x(k))^T$$

$$P^{-1}(k-1) = \sum_{i=1}^{k-1} \phi(x(i))\phi(x(i))^T \quad (3)$$

Si se desea poner en términos de P(k-1):

$$P^{-1}(k) = P^{-1}(k-1) + \phi(x(k))\phi(x(k))^T \quad (4)$$

Entonces, P(k) es:

$$P(k) = \left(P^{-1}(k-1) + \phi(x(k))\phi(x(k))^T\right)^{-1} \quad (5)$$

Así, se puede poner en práctica el “matriz inversión lemma” que dice:

$$(A + BCD)^{-1} = A^{-1} - A^{-1}B(C^{-1} + DA^{-1}B)^{-1}DA^{-1} \quad (6)$$

Se hace que:

$$A = P^{-1}(k-1)$$
$$B = \phi(x(k))$$
$$C = I$$
$$D = \phi(x(k))^T \quad (7)$$

Donde I es la matriz identidad del tamaño adecuado para que se pueda hacer la suma.

Al reemplazar, se tiene que:

$$P(k) = P(k-1) - P(k-1)\phi(x(k))\left(I + \phi(x(k))^T P(k-1)\phi(x(k))\right)^{-1} \phi(x(k))^T P(k-1) \quad (8)$$

Se sabe que la matriz inversa que hay en la fórmula no es más que un escalar por lo que se puede hacer:

$$P(k) = P(k-1) - P(k-1)\frac{\phi(x(k))\phi(x(k))^T P(k-1)}{I + \phi(x(k))^T P(k-1)\phi(x(k))}$$
(9)

Simplificando, se tiene que:

$$P(k) = P(k-1) - P(k-1)\frac{\phi(x(k))\phi(x(k))^T P(k-1)}{1 + \phi(x(k))^T P(k-1)\phi(x(k))}$$
(10)

Se reduce haciendo que:

$$K(k) = \frac{P(k-1)\phi(x(k))}{1 + \phi(x(k))^T P(k-1)\phi(x(k))}$$
(11)

Y se reemplaza:

$$P(k) = P(k-1) - K(k)\phi(x(k))\, P(k-1)$$
(12)

Factorizando P(k-1)

$$P(k) = \big(I - K(k)\phi(x(k))\big)\; P(k-1)$$
(13)

Reemplazando en la derivada de la función de costo, se tiene que:

$$\theta(k) = \theta(k-1) + \frac{P(k-1)\phi(x(k))}{1 + \phi(x(k))^T P(k-1)\phi(x(k))}(y(k)) - \phi(x(k))^T \theta(k-1))$$
(14)

Y esto es:

$$\theta(k) = \theta(k-1) + K(k)(y(k)) - \phi\big(x(k)\big)^T \theta(k-1)) \qquad (15)$$

Con lo que el algoritmo sería:

$$K(k) = \frac{P(k-1)\phi\big(x(k)\big)}{1 + \phi\big(x(k)\big)^T P(k-1)\phi\big(x(k)\big)}$$

$$P(k) = P(k-1) - K(k)\phi\big(x(k)\big)\, P(k-1)$$

$$\theta(k) = \theta(k-1) + K(k)(y(k)) - \phi\big(x(k)\big)^T \theta(k-1)) \qquad (16)$$

2.6 FACTOR DE OLVIDO

Muchas aplicaciones pueden considerarse como sistemas de parámetros variables. En ellos se requiere que los parámetros de modelo estimado se vayan adaptando en función de los cambios del sistema. Interesa en estos casos controlar el cómo las medidas antiguas o las recientes afectan sobre la estimación de los parámetros o cómo de rápido son olvidada las medidas anteriores o antiguas [9].

Un método utilizado en estos casos es el factor de olvido λ que proporciona un decrecimiento exponencial de los pesos.

La función pérdida a minimizar adopta la expresión:

$$V(\theta) = \sum_{k=1}^{t} \lambda^{t-k} \varepsilon^2(k) \qquad (16)$$

Donde el valor recomendado de λ es un valor comprendido entre 0.90 y 0.995

Por lo tanto el algoritmo de mínimos cuadrados recursivos con factor de olvido es:

$$K(t)=\frac{P(t-1)\varphi(t)}{\left(\lambda+\varphi^{T}(t)P(t-1)\varphi(t)\right)}$$

$$P(t)=\frac{1}{\lambda}\cdot\left[P(t-1)-\frac{P(t-1)\varphi(t)\varphi^{T}(t)P(t-1)}{\lambda+\varphi^{T}(t)P(t-1)\varphi(t)}\right]$$

$$\varepsilon(t)=y(t)-\varphi^{T}(t)\hat{\theta}(t-1)$$

$$\hat{\theta}(t)=\hat{\theta}(t-1)+K(t)\varepsilon(t) \qquad (17)$$

Donde,

K(t): es una función denominada ganancia de Kalman.
P(t): es la matriz de covarianza.
Є(t): Es el error.
Θ(t): es el vector de parámetros estimados.
Ψ(t): es un vector columna que contiene las salidas y las en el tiempo t.
λ: es el factor de olvido (si λ=1, el método considera todos los datos hacia atrás).

Una buena elección de P(0) es una matriz identidad del tamaño adecuado y para el vector inicial de parámetros podría ser adecuado un vector nulo. De todas maneras, para garantizar la convergencia es mejor iniciar los parámetros lo más cercano posible a su valor óptimo.

3. INTRODUCCIÓN A LABVIEW

3.1 DEFINICIÓN

Labview es un entorno de desarrollo de programas basado en un lenguaje de programación gráfico (G) que genera los programas en forma de diagramas de bloques [10].

Labview dispone de bibliotecas para adquisición de datos, análisis, presentación y almacenamiento de datos. Además dispone de herramientas convencionales de desarrollo de programas y depuración de errores, tales como puntos de ruptura, ejecución paso a paso y animación del flujo del programa [10].

Los programas en Labview se denominan instrumentos virtuales (extensión *.vi). Un VI consiste en una interfaz de usuario interactiva denominada Panel y un diagrama de flujo de datos. Cada VI podrá tener acceso a otros VIs, bien para hacer nuevas pantallas o bien para que trabajen como subprogramas, esto se hará a través de la generación del icono del VI y de sus entradas y salidas [10].

Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.

Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.

Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.

Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.

El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de ejecución posible.

Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.

Para mayor información sobre el software Labview visitar la página www.ni.com donde encontraras diferentes manuales del manejo y lenguaje de programación.

3.2 ADQUISICIÓN DE DATOS CON LA TARJETA USB 6009 NI

A continuación se hace una breve descripción sobre la adquisición de datos con la tarjeta USB 6009 de National Instruments:

En el trabajo se usará la tarjeta de Adquisición de Datos Multifunción por USB de 14 bits a 48 kS/s (muestras/segundo), ya que fue elegida por su fácil uso práctico para estudiantes.

3.2.1 CARACTERISTICAS



Figura 1. Tarjeta de Adquisición de datos USB 6009
Fuente: Revisar la página web,
http://www.ni.com/pdf/products/us/20043762301101dlr.pdf

8 canales de entrada analógica con resolución de 14 bits, 12 líneas de E/S digital, 2 salidas analógicas, 1 contador [3].

Diseño energizado por bus para mayor comodidad y portabilidad [3].

Software controlador para Windows, Mac OS X, Linux y Pocket PC [3].

El software de NI-DAQmx y software interactivo NI LabVIEW SignalExpress para registro de datos [3].

3.3 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

El módulo de Adquisición de datos multifuncional USB-6009 de National Instruments provee una Adquisición de Datos confiable. Con una conectividad USB plug-and-play, este modulo es lo suficientemente simple para realizar mediciones rápidas pero suficientemente versátil para aplicaciones de mediciones más complejas.

3.4 DESCRIPCION DEL SOFTWARE

El módulo USB 6009 usa el software NI-DAQmx de alto rendimiento, el cual es un software multilectura para una configuración interactiva y una adquisición de datos en los sistemas operativos Windows.

Puede recurrir al LabVIEW Measurements Manual para información acerca de adquisición de datos. [11]

3.5 CONEXIONES Y VERIFICACIÓN DE LA TARJETA DE ADQUISICIÓN CON EL PROGRAMA MEASU-REMENT & AUTOMATION:

Si se usa la tarjeta como fuente de voltaje debe conectar un cable a la tierra de la tarjeta (GND) y otro a alguna de sus salidas analógicas (AO0 o AO1).

Si quiere usar la tarjeta en modo simple (RSE) para medir una señal de voltaje debe conectar un cable a algunas de las entradas analógicas (AI0, AI1, etc). La medida será entonces con respecto a la tierra de la tarjeta.

Para verificar el funcionamiento básico de la tarjeta use la aplicación Measurement & Automation (Software de Medida y Automatización), generalmente ubicada en la carpeta National Instruments.

Al abrir la Barra del Menú Principal, seleccione Configuration/Devices and Interfaces / NI-DAQmx / NI USB-6008: Dev n, siendo n un numero, normalmente 1.
Seleccione Self-Test, la respuesta debe ser The device has passed the self-test, de otra forma existe un problema de conexión o de configuración.

Para probar la tarjeta como fuente de voltaje, abra Test Panel y seleccione Analog Output.
A continuación puede fijar un valor de voltaje en la casilla Output Value y presione Update.

Si tiene un circuito armado y bien cableado, usted puede medir con un milímetro la diferencia de tensión que existe efectivamente entre los puntos de salida de la tarjeta.

Para realizar una medida con la tarjeta seleccione Analog Input. Se sugiere usar los siguientes parámetros de adquisición:

_ Mode: Continuous
_ Max Input Limit: +10 V, Min Input Limit: -10 V
_ Input Configuration: RSE
_ Channel Name: AI0 o a elección
_ Rate (Hz): 1000 o a elección
_ Samples to read: 1000 o a elección

4. ADQUISICION DE DATOS CON EL OSCILOSCOPIO DIGITAL FLUKE 123 SCOPEMETER

El ScopeMeter 123 es una robusta herramienta para la localización de averías en entornos industriales. Integra un osciloscopio, un multímetro y un "registrador" sin papel en una sola herramienta, asequible y fácil de usar. Encuentre rápidamente respuestas a problemas en máquinas, instrumentación y sistemas de control y alimentación eléctrica y posee la forma de hacer adquisición de datos [1].

Los modelos ScopeMeter de la Serie 123 tienen un ancho de banda de 20 MHz y la función de disparo Connect-and-View™ que permite obtener una visualización instantánea y estable, son idóneos para las aplicaciones industriales en sistemas electrónicos o electromecánicos.



Figura 2. Fluke 123.
Fuente: Revisar página web:
http://fluke.informationstore.net/efulfillment.asp?publication=10018-spa

4.1 ESPECIFICACIONES

Tabla 1. Especificaciones del Fluke 123.

Ancho de banda del osciloscopio	Fluke 123:20 MHz
Multímetro de verdadero valor eficaz de dos canales	VDC, VAC, VAC+VDC, Ohmios, Continuidad, Comprobación de diodos, Corriente, °C, °F, Capacidad, dBV, dBM, Factor de cresta, Touch Hold y Ajuste a cero
Registro TrendPlot	Escala automática vertical y compresión temporal. Presentación de lecturas reales de mínimos, máximos y promedio.
Máx. velocidad de muestreo en tiempo real	25 MS/s

Velocidad de muestreo equivalente	1,25 GS/s (123).
Canales y digitalizadores	2
Rango de la base de tiempos	Fluke 123:10 ns -1 min/div
Sensibilidad de entrada	5 mV -500 V/div
Tipos de disparo	Connect-and-View™, Libre, Disparo único, Flanco, Vídeo, Externo
Captura de picos	40 ns
Medidas del osciloscopio	Mediciones automáticas: 26
Longitud máxima de registro	512 mín/máx puntos por entrada
Memoria	Fluke 125/124:20 pantallas y configuraciones Fluke 123: 10 pantallas y configuraciones
Especificaciones de ambiente	
Temperatura de trabajo	0 ºC a 50 ºC
Temperatura de almacenamiento	-20 °C a +60 °C
Altitud de trabajo	3.000 m
Homologación de seguridad	
Seguridad eléctrica	Seguridad EN61010-1 CAT III 600 V
Especificaciones mecánicas y generales	
Tamaño	232 x 115 x 50 mm
Peso	1,2 kg
Garantía	3 años en piezas y mano de obra (un año en accesorios)
Duración de la batería	7 horas con la batería NiMH
Interfaz RS-232/USB	Optoaislado a través de PM9080/OC4USB opcional para conexión a impresora o PC

5. INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE MATLAB

MATLAB es el nombre abreviado de “MATrix LABoratory”. MATLAB es un programa para realizar cálculos numéricos con vectores y matrices. Como caso particular puede también trabajar con números escalares (tanto reales como complejos), con cadenas de caracteres y con otras estructuras de información más complejas. Una de las capacidades más atractivas es la de realizar una amplia variedad de gráficos en dos y tres dimensiones. MATLAB tiene también un lenguaje de programación propio [12].

5.1 CARACTERÍSTICAS

- Cálculo numérico rápido y con alta precisión
- Manejo simbólico
- Graficación y visualización avanzada
- Programación mediante un lenguaje de alto nivel
- Programación estructurada y orientada a objetos
- Soporte básico para diseño de interfaz gráfica
- Extensa biblioteca de funciones
- Aplicaciones especializadas para algunas ramas de las ciencias y la ingeniería (toolboxes) [13].

5.2 OPERACIÓN

- Simple y eficiente
- Interactivo
- Sistema de ayuda en línea
- Interacción con otros entornos [13].

En la bibliografía de esta tesis se encuentra la dirección de un manual de Matlab 7.0, para los interesados en el funcionamiento y programación.

5.3 SIMULINK

Simulink es una herramienta para el modelaje, análisis y simulación de una amplia variedad de sistemas físicos y matemáticos, inclusive aquellos con elementos no lineales y aquellos que hacen uso de tiempos continuos y discretos. Como una extensión de MatLab, Simulink adiciona muchas características específicas a los sistemas dinámicos, mientras conserva toda la funcionalidad de propósito general de MatLab. Así Simulink no es completamente un programa separado de MatLab, sino un anexo a él. El ambiente de MatLab está siempre disponible mientras se ejecuta una simulación en Simulink.

Simulink tiene dos fases de uso: la definición del modelo y el análisis del modelo. La definición del modelo significa construir el modelo a partir de elementos básicos

construidos previamente, tal como, integradores, bloques de ganancia o servomotores. El análisis del modelo significa realizar la simulación, linealización y determinar el punto de equilibrio de un modelo previamente definido.

Para simplificar la definición del modelo Simulink usa diferentes clases de ventanas llamadas ventanas de diagramas de bloques. En estas ventanas se puede crear y editar un modelo gráficamente usando el ratón. Simulink usa un ambiente gráfico lo que hace sencillo la creación de los modelos de sistemas.

Después de definir un modelo este puede ser analizado seleccionando una opción desde los menús de Simulink o entrando comandos desde la línea de comandos de MatLab.

Simulink puede simular cualquier sistema que pueda ser definido por ecuaciones diferenciales continuas y ecuaciones diferenciales discretas. Esto significa que se puede modelar sistemas continuos en el tiempo, discretos en el tiempo o sistemas híbridos.

Simulink usa diagramas de bloques para representar sistemas dinámicos.
Mediante una interfase gráfica con el usuario se pueden arrastrar los componentes desde una librería de bloques existentes y luego interconectarlos mediante conectores y alambre. La ventana principal de Simulink se activa escribiendo Simulink en la línea de comandos de MatLab, y se muestra a continuación.

6. DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO FEEDBACK

El Módulo Feedback 33-100 consta de una fuente de alimentación, una unidad analógica y una unidad mecánica, representadas en la Figura 3 y 4, la unidad analógica y la mecánica son operadas simultáneamente mediante un cable conector de 34 canales.

6.1 UNIDAD MECANICA

Contiene un amplificador de potencia para controlar un servomotor a partir de una entrada lineal o conmutada. El motor mueve al eje de salida a través de un sistema de reducción con correa de relación 32 a 1. Sobre el eje del motor están montados: un freno de corrientes parásitas (un disco de aluminio acoplado a un yugo magnético ajustable) y un tacogenerador (pequeño generador de CC con imanes permanentes). El disco tiene pintadas dos pistas con rayas uniformemente espaciadas, de las que un juego de fotodetectores obtiene un tren de pulsos bifásico que indica velocidad y sentido de giro.

El eje de salida tiene acoplados dos transductores de posición: uno analógico (potenciómetro) y uno digital (disco con código Gray de 6 bits).

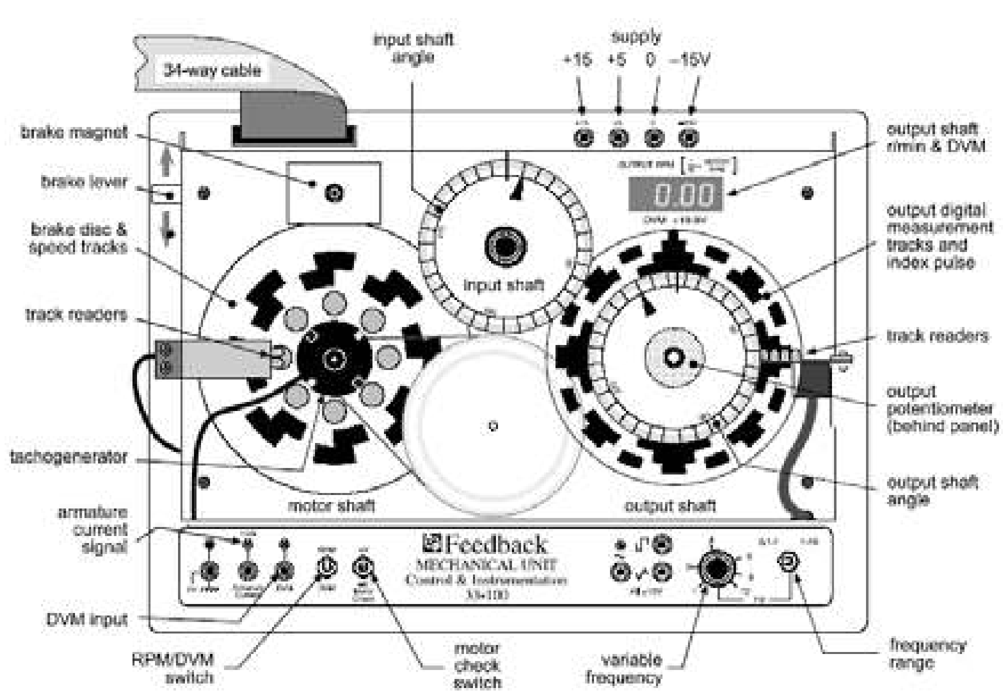


Figura 3: Unidad mecánica que constituyen el Módulo Feedback.
Fuente: Unidad Mecánica 33-100 Feedback y analógica 33-110 Manual del usuario.

6.1.1 ESPECIFICACIONES

- **Eje del motor:** es solidario con el tacogenerador y el disco del freno por corrientes parásitas. El disco tiene grabadas dos pistas que lee el tacómetro digital.

- **Disco de freno e imanes:** el freno es ajustado con una palanca que sobresale a la izquierda. La palanca se mueve sobre una escala, cuyo propósito es permitir repetir condiciones de trabajo determinadas.

- **Pistas taquimétricas y optolectores:** proporcionan una señal bifásica de niveles TTL (0 a 5V) a razón de 8 ciclos por revolución. Estas señales están presentes en el conector de 34 vías.

- **Prueba del motor:** permite aplicar tensión directa al motor para comprobar su funcionamiento.

- **Señal de corriente por armadura:** entrega una tensión que es proporcional a la corriente que circula por la armadura del motor. La escala es de 1V/A.

- **Eje de entrada:** solidario al potenciómetro de entrada, permite entregar a través de este la señal Θi en el rango de -10 a +10V.

- **Frecuencia y rango del generador de señales:** controlan el oscilador interno, que entrega señales senoidales, triangulares y cuadradas de 10Vp en dos rangos 1/10 a 1Hz y 1Hz a 10Hz. Las señales triangular y cuadrada están disponibles en el conector de 34 vías.

- **Eje de salida:** es solidario con el potenciómetro de salida y el codificador angular de código Gray de 6 bits. El potenciómetro entrega la señal Θo en el rango de -10 a +10V.

- **Mediciones digitales:** las pistas concéntricas grabadas con código Gray permiten resolver 64 distintas posiciones del eje a través de lectores infrarrojos. Estos 6 bits están disponibles con niveles TTL en el conector de 34 vías.

- **Pulso de índice:** a un pulso por revolución, permite contar con un punto de arranque para las mediciones incrementales. Su señal, con nivel TTL está disponible en el conector de 34 vías.

- **Display de velocidad:** muestra directamente la velocidad de rotación del eje de salida entre 00.0 y 99.9 RPM, utilizando la señal del tacogenerador. Teniendo en cuenta la reducción de 32 a 1, una velocidad del motor de 1000 RPM se traducirá en 31.1 RPM sobre el eje de salida.

6.1.2 ALIMENTACIÓN

Se requiere una alimentación externa de +/- 15VCC 1,5A y +5VCC 0,5A. Los conectores de entrada (hembras de fichas banana de 4mm) están protegidos contra inversiones de conectores, aún cuando en este caso se pueda volar un fusible.

6.2 UNIDAD ANALOGICA

Se conecta a la unidad anterior por medio de un cable de cinta de 34 canales que lleva todas las alimentaciones y señales del sistema. Esta unidad permite obtener las señales de velocidad y posición del motor necesarias para realizar su control.

Dentro de la unidad se incluyó un generador que provee las señales típicas de ensayo de servosistemas: triangulares, cuadradas y senoidales de baja frecuencia.

Unidad Analógica (33-110)

Figura 4: Unidad analógica que constituyen el Módulo Feedback
Fuente: Unidad Mecánica 33-100 Feedback y analógica 33-110 Manual del usuario.

La figura 4 muestra la disposición general de esta placa. Las interconexiones se efectúan con cables rematados en fichas banana de 2mm y hay unas pocas

hembras de fichas banana de 4mm para conectar a dispositivos externos o un osciloscopio.

6.2.1 ESPECIFICACIONES

PORCIÓN SUPERIOR DEL PANEL

- **Θi, Θo:** estos puntos de conexión entregan señales de tensión que se corresponden con los potenciómetros de entrada (posición deseada) y salida (posición del eje) del sistema. Aun cuando están representados en el centro del diagrama mímico de la unidad controladora, físicamente se encuentran montados sobre la unidad mecánica.

- **-Θo:** este punto de conexión entrega la señal de tensión correspondiente al ángulo de salida con signo invertido. Esta negación es requerida en ciertos montajes.

- **Interruptores para introducir fallas:** permiten introducir desperfectos en el sistema. Para uso normal (sin fallas) deben estar todos movidos hacia abajo (OFF).

- **Amplificador de error:** se usa para combinar las señales de los potenciómetros, entregando la señal de error (su diferencia).

- **Potenciómetros P1 y P2:** permiten controlar la ganancia del sistema y ajustar la amplitud de la señal entregada por el tacogenerador.

- **Amplificador de potencia:** alimenta y controla el motor. Sus dos entradas mueven en motor en sentidos opuestos para una entrada determinada. El ajuste de cero permite hacer girar el motor aún cuando la señal de entrada es nula.

- **Motor:** se encuentra físicamente en la unidad mecánica. Mueve directamente al tacogenerador y el freno por corrientes parásitas. Mueve al eje de salida a través de una reducción de 32 a 1 por correa.

- **Disco e imanes de freno:** están en la unidad mecánica y constituyen una carga ajustable para el motor (por el método de las corrientes parásitas).

- **Tacogenerador:** está montado sobre el eje del motor y proporciona una tensión que es proporcional a su velocidad de rotación. Está disponible también en su versión negada, a través de un inversor de ganancia unitaria.

PORCIÓN INFERIOR DEL PANEL

- **Escalón de +/-10V:** permite introducir manualmente un escalón de 10 de amplitud.
- **Señales de prueba:** este conector presenta señales de prueba triangulares y cuadradas de 10V de pico y baja frecuencia (desde 1/10Hz hasta 10Hz). Los controles de frecuencia (potenciómetro y selector de rango) están presentes en la unidad mecánica. También en la unidad mecánica hay una salida que entrega una onda senoidal.
- **Potenciómetro de ajuste de señal externa P3:** se puede conectar a cualquier entrada para entrega una señal ajustable al amplificador de error.
- **Controlador:** contiene amplificadores operacionales con sus redes de realimentación asociadas, permitiendo implementar varios circuitos de control y compensación que mejoran el comportamiento del sistema.

6.3 CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR, TACOGENERADOR Y FRENO

El motor de nuestra unidad es del tipo de imán permanente, y puede ser representado muy aproximadamente por el modelo mostrado en la figura 5(a), donde Ra es la resistencia de la armadura mientras que T1 y T2 son los verdaderos terminales externos del motor.

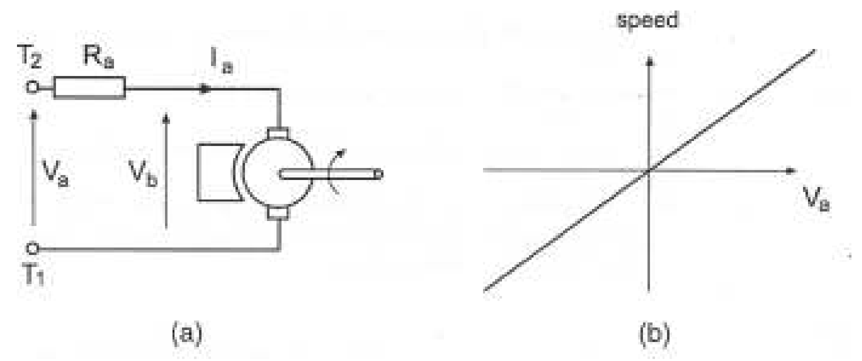


Figura 5: Representación de un motor real en términos de un motor ideal

Si el motor está quieto y se le aplica una diferencia de potencial Va, circulará una corriente Ia, que producirá un torque que hará rotar el motor. A medida que el motor comienza a girar, se induce una fuerza contra electromotriz Vb.

Cuanto más rápido gire el motor, más crece Vb y más disminuye Ia. En un motor ideal (sin pérdidas) Ia cae a casi hasta cero y Vb resulta muy próximo a Va. A partir de aquí, si se cambia el valor Va a la suba o a la baja, y siendo la velocidad del motor directamente proporcional a la tensión aplicada, la gráfica de su velocidad

versus la diferencia de potencial aplicada Va tendrá la forma general mostrada en la figura 5(b).

En la unidad mecánica 33-100, la tensión de armadura Va es provista por un amplificador de potencia. Este amplificador es necesario porque, aunque las tensiones que entrega el amplificador de error son del orden de magnitud de Va, la corriente que toma el motor ronda el amper mientras que las corrientes con que trabaja el amplificador operacional son menores a 1mA y no podría manejarlo directamente. El amplificador de potencia tiene dos terminales de entrada, permitiendo controlar el sentido de rotación que producirá una tensión determinada.

El tacogenerador es una pequeña máquina de imán permanente, por lo que al rotar produce una fuerza electromotriz inducida directamente proporcional a su velocidad de giro, por lo que se puede tomar esta tensión como una medida indirecta de la velocidad.

El freno por corrientes parásitas está formado por un yugo con imanes permanentes que se pueden disponer muy próximos a un disco de aluminio. Cuando el disco gira dentro del campo de los imanes aparecen corrientes inducidas (llamadas en este caso parásitas) fundamentalmente en el área del disco en la zona del entrehierro. Estas corrientes interactúan con el campo de los imanes de tal manera que la fuerza producida se opone al movimiento (Ley de Lenz). A mayor velocidad de rotación, mayor corriente inducida y mayor efecto de frenado.

Por otra parte, cuanto más próximos al centro del disco estén los imanes mayor área de circulación tendrán las corrientes inducidas, y mayor será el efecto del frenado. La relación que se establece entre la velocidad de giro y el torque de frenado es una línea recta, cuya pendiente depende de la distancia de los imanes al centro del disco.

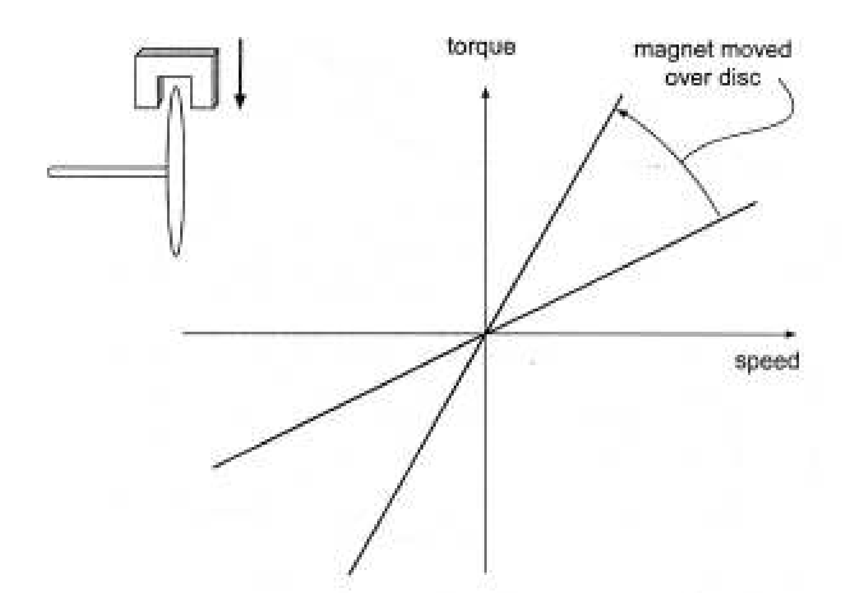


Figura 6: Característica de un freno magnético por corrientes parásitas.

Las características generales de un motor pueden considerarse desde dos puntos de vista que están relacionados con la representación ideal de la figura 5 (a):

Estado de régimen, vinculado a condiciones de operación constantes o de cambios muy lentos.

Estado transitorio, vinculado a los cambios súbitos.
Ambos puntos de vista son importantes en la implementación de sistemas de control.

7. CONEXIONES REQUERIDAS PARA LA VELOCIDAD DEL MOTOR

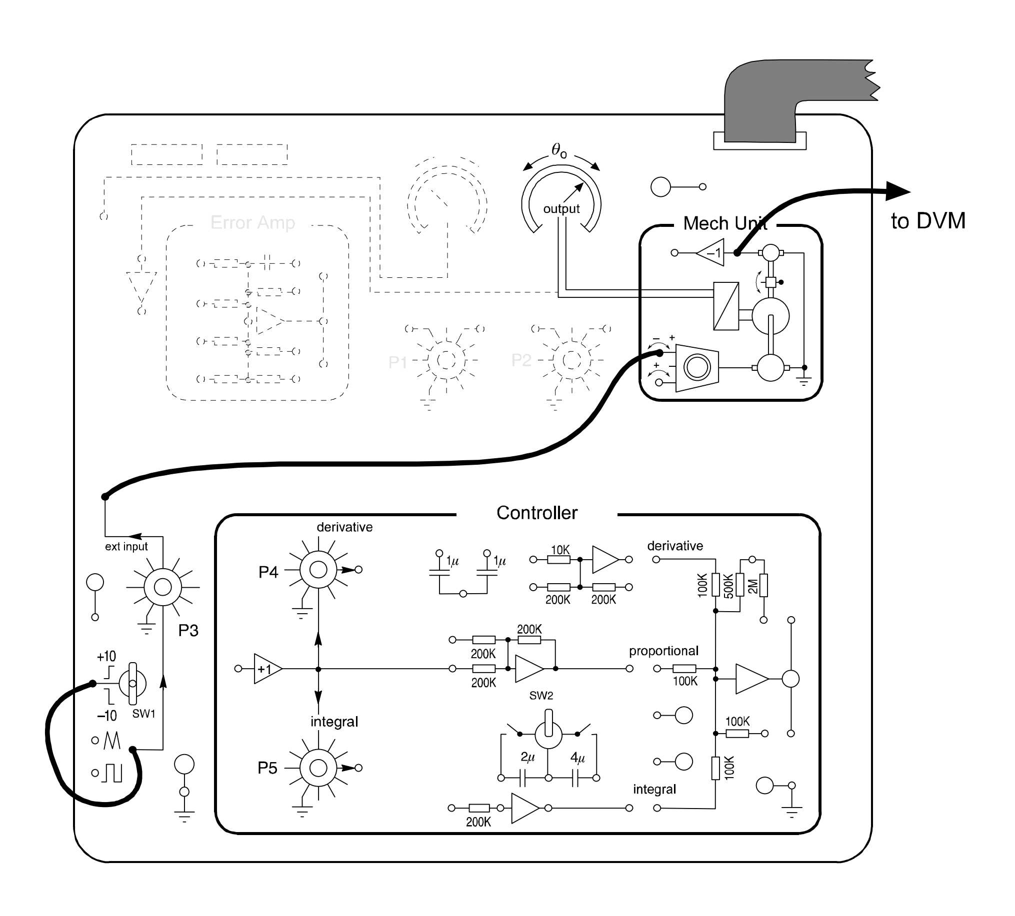


Figura 7: Conexiones requeridas para el control de velocidad.

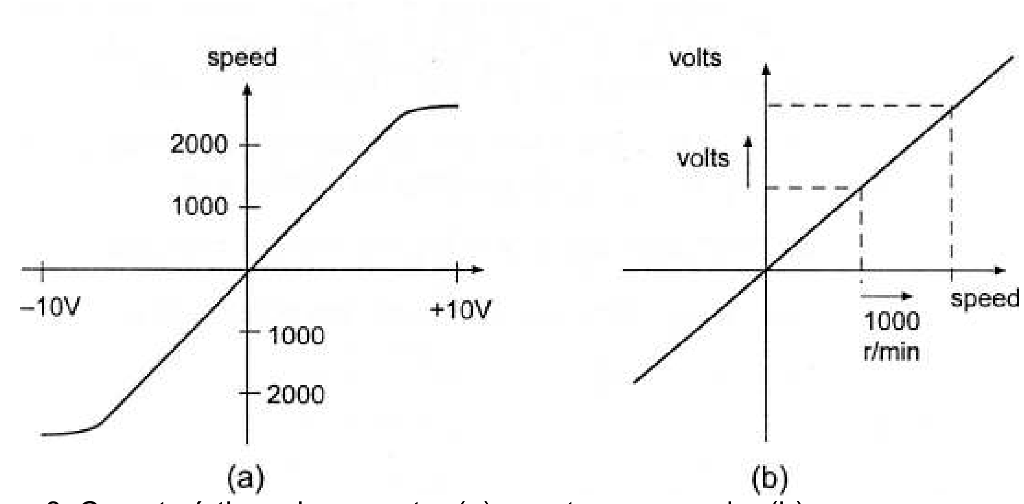


Figura 8: Características de un motor (a) y un tacogenerador (b).

7.1 PROCEDIMIENTO

- Conecte la unidad mecánica a la de control analógico a través del cable de 34 conductores.

- Conecte la unidad mecánica a una fuente de alimentación adecuada, utilizando el cable de 4 conductores provisto.

- La convención de colores es:
  Rojo: +15V
  Naranja: +5V
  Negro: 0V (común o masa)
  Azul: -15V

- Verifique que todos los interruptores para introducir fallas están hacia abajo (OFF).

- Realizar las conexiones de la figura 7.

- Encienda la fuente de alimentación.

- Ajuste SW1 en +10.

- Ajuste el cero del amplificador de potencia.

- Coloque la llave selectora del display en RPM: debería registrar los cambios de velocidad del motor.

- Gire el potenciómetro P3 suavemente. El motor debería responder incrementando su velocidad.

- Vuelva P3 a cero.

- Mueva la llave selectora SW1 a la posición de -10V.

- Gire el potenciómetro P3 suavemente. El motor debería responder de manera similar, pero con sentido contrario.

8. DESCRIPCION DE LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Se realizó la solución en dos procedimientos:

Primero se realizó la adquisición de datos de la entrada y salida del motor con la tarjeta de adquisición de datos de National Instrument USB 6009 y el osciloscopio digital Fluke123.

Segundo se guardó en una tabla en Excel los datos para que el programa de Labview y Matlab estimen el modelo matemático mostrándolo en forma de función de transferencia.

En la adquisición de datos se registró el voltaje aplicado al motor DC del módulo de servomecanismos Feedback y su velocidad.

En la figura 9 se ven los pasos a seguir para la identificación y obtención del modelo matemático por mínimos cuadrados recursivos.



Modulo feedback USB 6009 NI

Figura 9: Obtención de los datos e identificación del modelo matematico.
Fuente: http://www.fbk.com/product.aspx?pid=33-100, http://www.toshibadirect.com/td/b2c/retailproduct.jsp?poid=431947,http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/14605

9. ESTIMACION DEL MODELO MATEMATICO DEL SISTEMA

9.1 EXPLICACIÓN DE LA ADQUISICION DE DATOS CON LA TARJETA USB 6009 NI

Para la adquisición de datos se creó un while loop para que los datos se adquieran continuamente hasta que termine el tiempo programado de la adquisición.

↓

Dentro del While Loop se creó un Flat Sequence Structure con una adición de un Frame.

↓

Dentro del Flat Sequence Structure se crearon los Daq Assitant, cada Daq va dentro de un Frame que al ejecutarlo se adquieren los datos casi simultáneamente.

↓

Para los Daq Assistant fue necesario crear un Frame adicional para evitar errores en la adquisición de datos.

↓

Se crean dos millisecond timer value y se restan entre sí, el resultado se divide en 1000 para pasar el tiempo a segundos, el nuevo resultado se multiplica por el valor que queremos dure la adquisición de datos, conectándolo al Loop condition para que finalice el While loop, dando por terminado la adquisición.

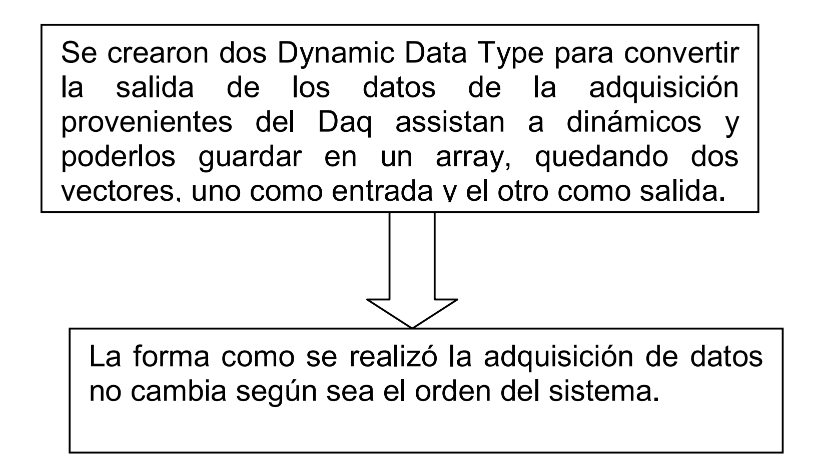
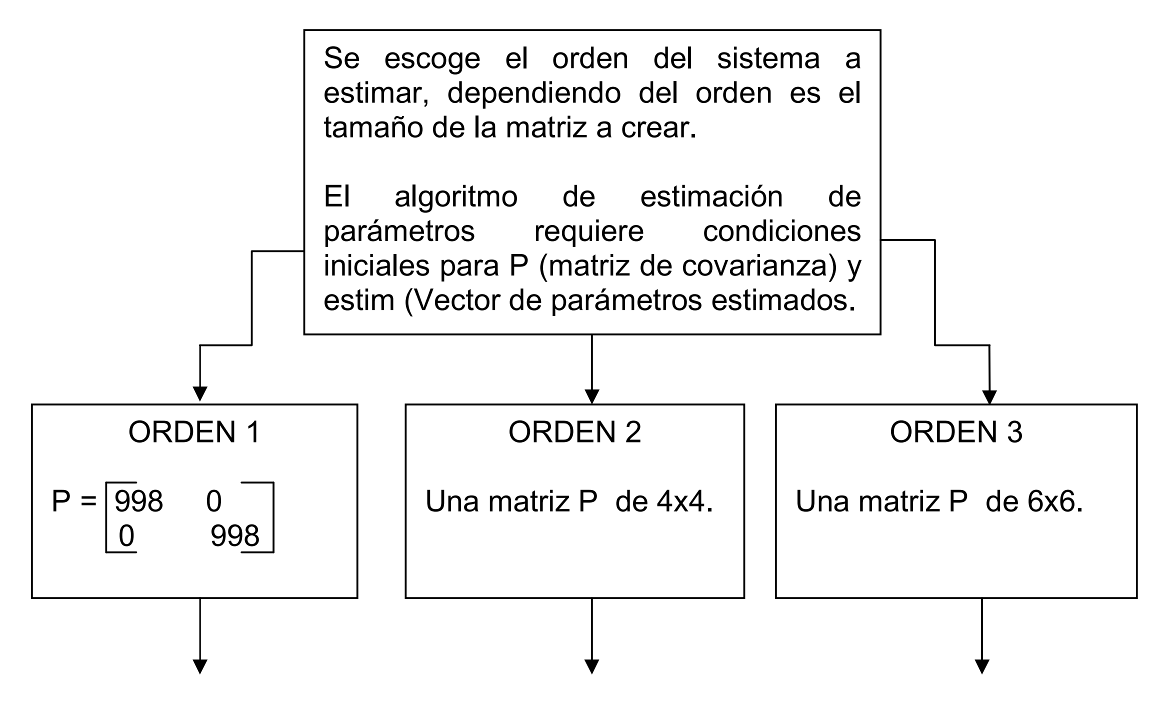
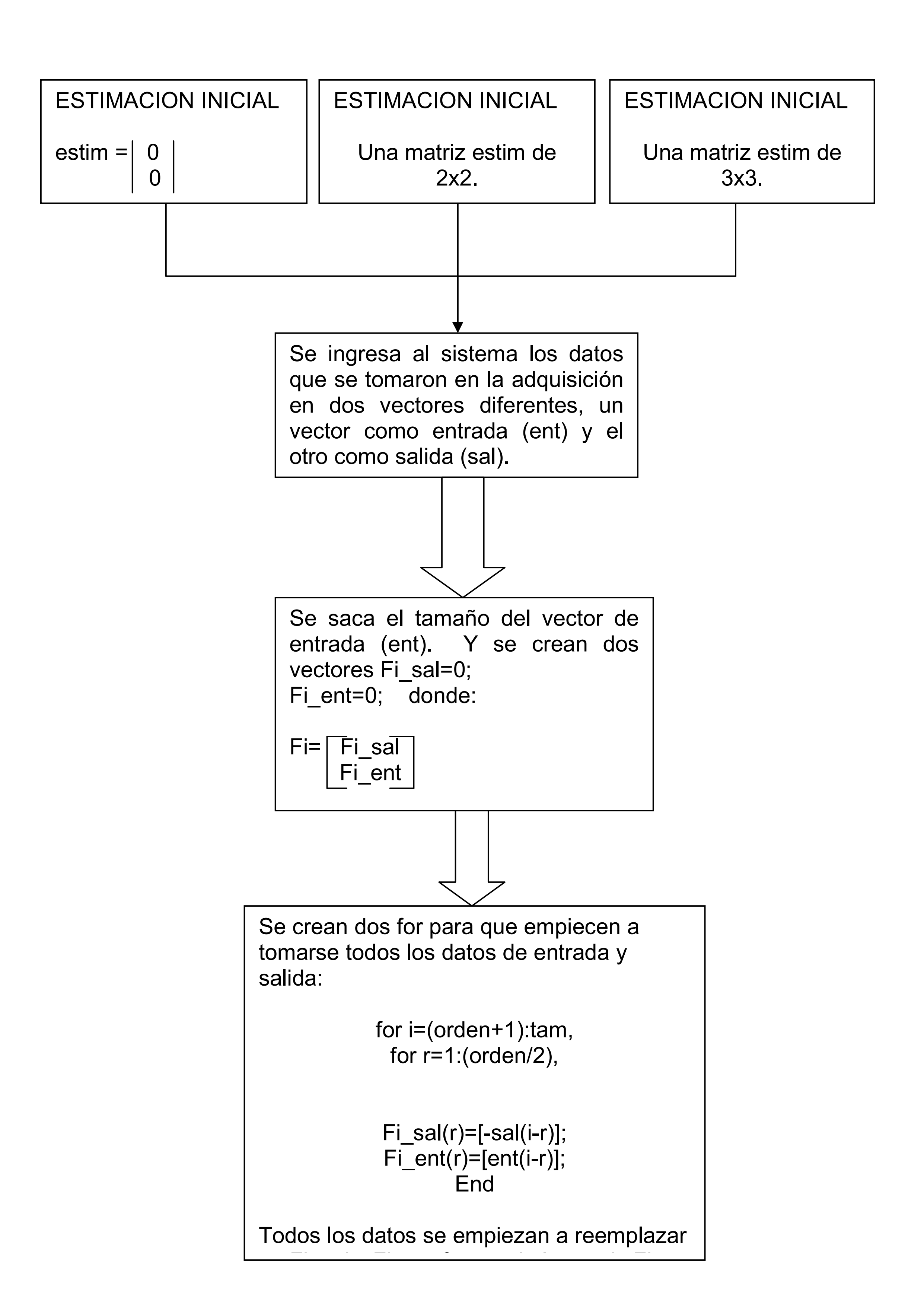


Figura 10: Explicación de la adquisición de datos con la tarjeta USB 6009 NI

9.2 ESTIMACION DE PARAMETROS POR MINIMOS CUADRADOS RECURSIVOS

La estimación de parámetros por mínimos cuadrados se puede realizar como no recursiva y recursiva, en la universidad se realizó una tesis implementando el método no recursivo, realizada por Erika Tatiana Durán, por consiguiente implemente el método recursivo en ésta tesis.




ESTIMACION INICIAL
estim = | 0 |
| 0 |
ESTIMACION INICIAL
Una matriz estim de 2x2.
ESTIMACION INICIAL
Una matriz estim de 3x3.
Se ingresa al sistema los datos que se tomaron en la adquisición en dos vectores diferentes, un vector como entrada (ent) y el otro como salida (sal).
Se saca el tamaño del vector de entrada (ent). Y se crean dos vectores Fi_sal=0;
Fi_ent=0; donde:
Fi= Fi_sal
Fi_ent
Se crean dos for para que empiecen a tomarse todos los datos de entrada y salida:
for i=(orden+1):tam,
for r=1:(orden/2),
Fi_sal(r)=[-sal(i-r)];
Fi_ent(r)=[ent(i-r)];
End
Todos los datos se empiezan a reemplazar

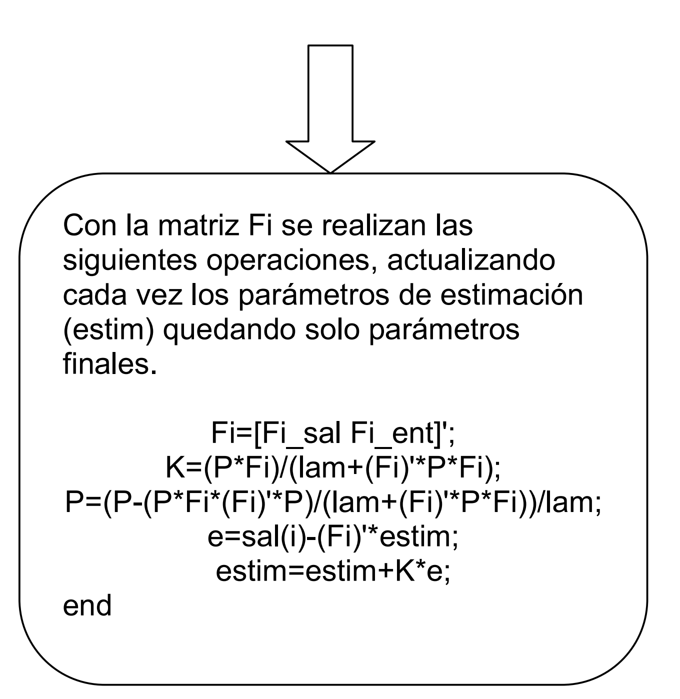


Figura 11: Explicación del algoritmo de mínimos cuadrados recursivos.

10. RESULTADOS DE LA EJECUCION DE LA IDENTIFICACION DEL MODELO MATEMATICO POR MINIMOS CUADRADOS RECURSIVOS

Conociendo el módulo Feedback sabemos que la función de transferencia de un servomotor de corriente continua controlado por armadura, si la inductancia de la armadura es despreciable, es de primer orden, por lo tanto para la ejecución del algoritmo de mínimos cuadrados recursivos se estableció en los datos iníciales ese orden.

Suponiendo el modelo en función de transferencia de un sistema de la forma

$$\frac{Y(z)}{U(z)} = G(z) = \frac{b_1 z^{n-1} + b_2 z^{n-2} + \cdots + b_n}{z^n - a_1 z^{n-1} - \cdots - a_n}$$

donde *U(z)* es la entrada y *Y(z)* la salida se obtuvieron los parámetros estimados de a1 y b1.

10.1 PARAMETROS ESTIMADOS DE LA VELOCIDAD DEL MOTOR DC CON LOS DATOS DE LA TARJETA DE ADQUISICION DE DATOS

Parámetros estimados con un escalón de 10V, tomados en diferentes periodos de tiempo con la tarjeta de adquisición de datos USB 6009 NI:

Tabla 2: Parámetros estimados del motor DC con la tarjeta de adquisición de datos USB 6009 NI.

PARAMETROS ESTIMADOS DE LA VELOCIDAD DEL MOTOR	
a1	**b1**
0.857	**0.1104**
0.8099	**0.1361**
0.7712	**0.1568**
0.7808	**0.1421**

Fuente: Autor del texto.

10.2 PARAMETROS ESTIMADOS CON LOS DATOS ADQUIRIDOS CON EL OSCILOSCOPIO DIGITAL FLUKE

El valor de escalón utilizado fue de 10V:

Tabla 3: Parámetros estimados del motor DC con el osciloscopio digital Fluke 123.

NUMERO DE PARAMETROS	PARAMETROS ESTIMADOS DE LA VELOCIDAD DEL MOTOR	
	a1	**b1**
1	**0.7996**	**0.1379**
2	**0.8183**	**0.1381**
3	**0.8074**	**0.1306**
4	**0.7859**	**0.1539**

Al mirar las tablas 3 y 4 se puede observar una proximidad en cuanto a los parámetros estimados con las dos formas de adquirir los datos; Mediante la tarjeta de adquisición de datos y el osciloscopio digital Fluke 123.

10.3 GRAFICACIÓN DE LOS DATOS DE LOS PARAMETROS ESTIMADOS

Al mirar las graficas de los datos tomados con el osciloscopio digital Fluke 123, se observan unos datos que bajan hasta la zona muerta y superan la saturación. Por este motivo los parámetros estimados varían un poco.

En las siguientes figuras se puede observar la grafica de color rojo, correspondiente a la variación del voltaje de entrada al motor DC y la grafica de color azul corresponde al voltaje de salida del motor, siendo el voltaje de salida proporcional a la velocidad.

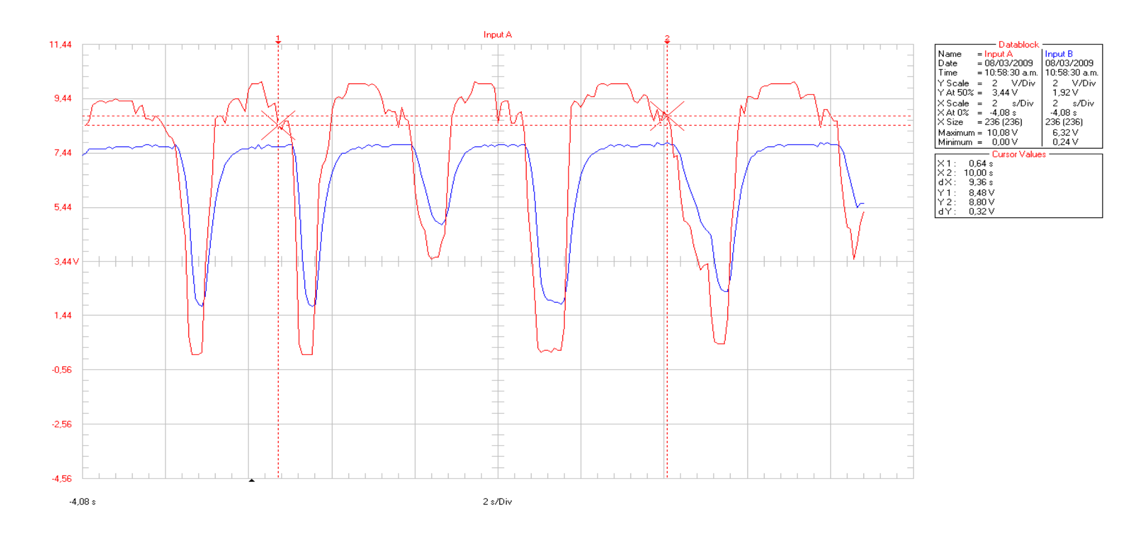


Figura 12: Datos de entrada y salida #1.

.

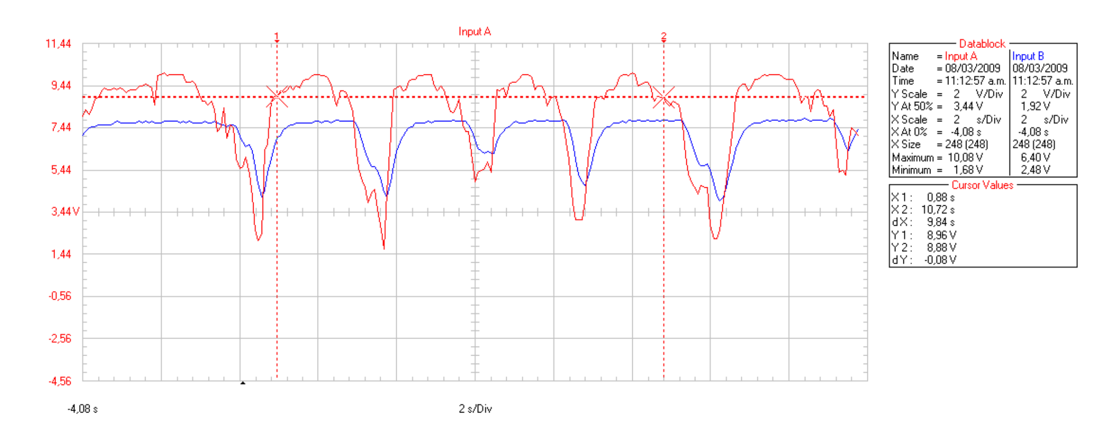


Figura 13: Datos de entrada y salida #2.

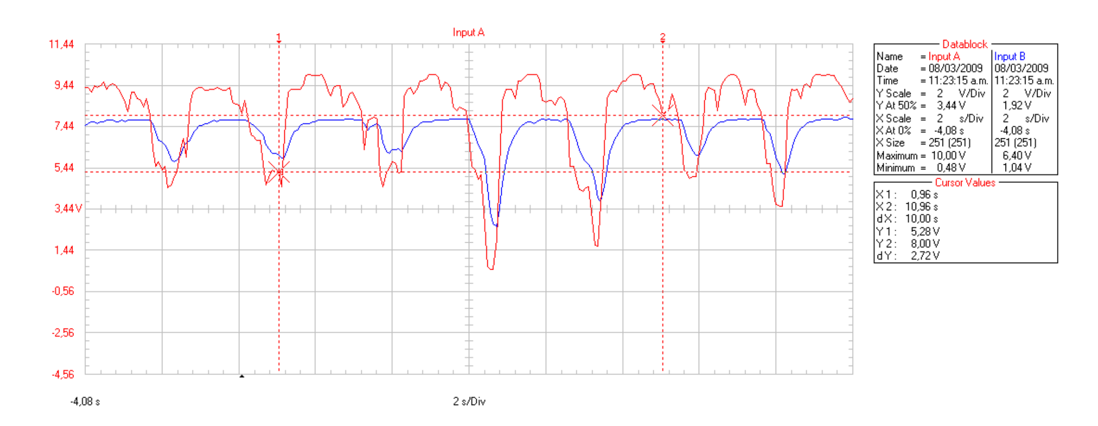


Figura 14: Datos de entrada y salida #3.

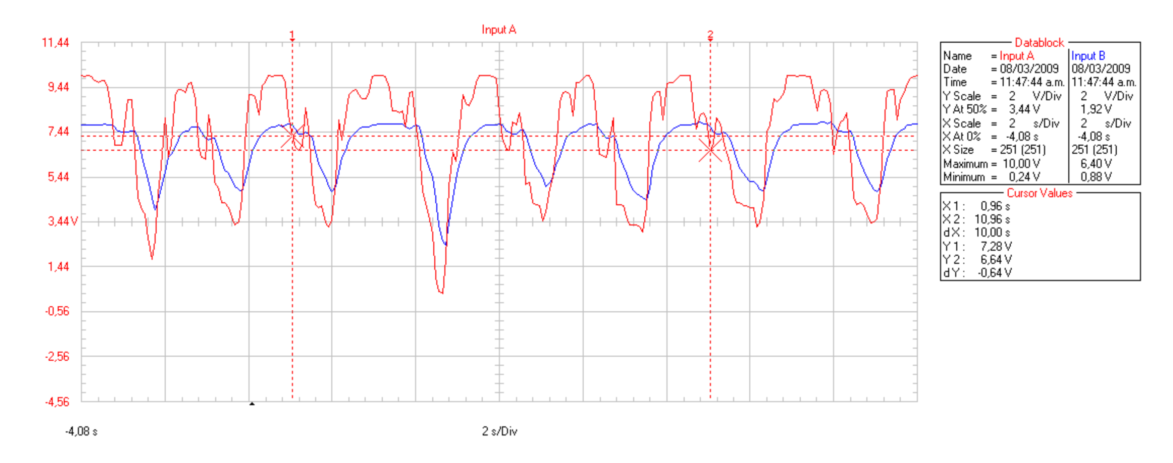


Figura 15: Datos de entrada y salida #4.

11. ANALISIS DE RESULTADOS

Durante el desarrollo del proyecto se realizaron varios tipos de pruebas en diferentes tiempos para la ejecución de la adquisición de datos de la velocidad del motor DC; esas pruebas ayudaron a determinar los parámetros del modelo matemático de la velocidad del motor DC del modulo Feedback.

Simulación con los parámetros estimados con los datos adquiridos con el osciloscopio digital Fluke 123.

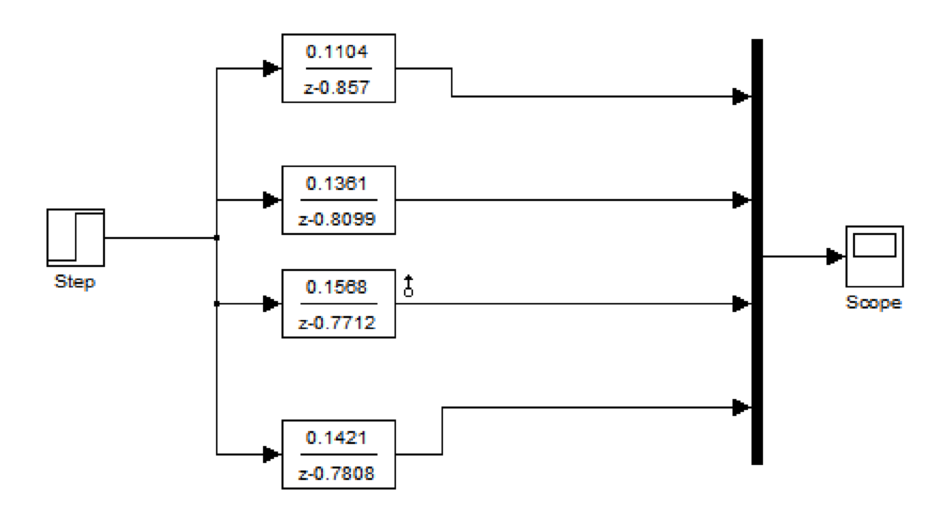


Figura 16: Simulación de los parámetros estimados en simulink en tiempo discreto de la tabla 2.

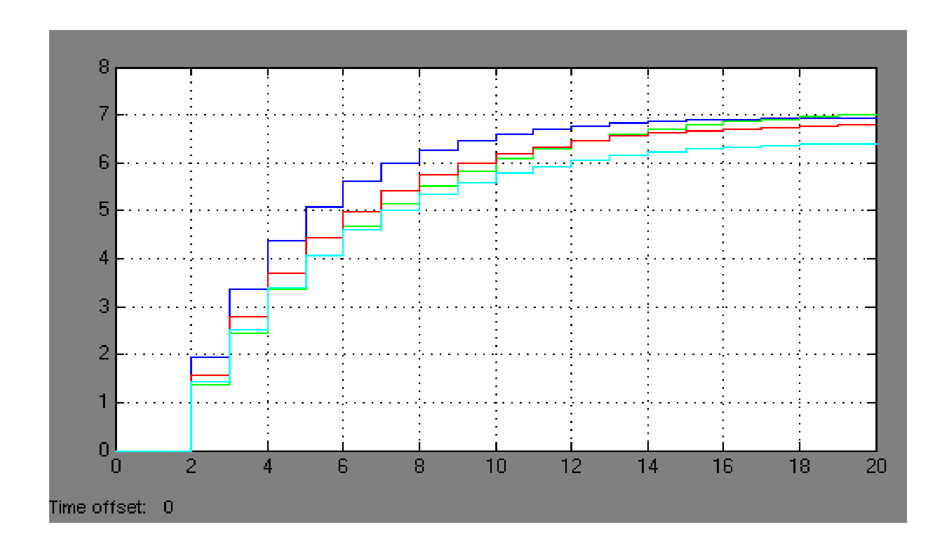


Figura 17: Respuesta transitoria a un escalón en tiempo discreto con los parámetros estimados de los datos tomados con el osciloscopio digital Fluke 123.

Cada color de la gráfica corresponde a un parámetro estimado, dónde se puede observar el desfase que existe entre ellos.

Simulación con los parámetros estimados con los datos adquiridos con la tarjeta de adquisición de datos USB 6009 NI.

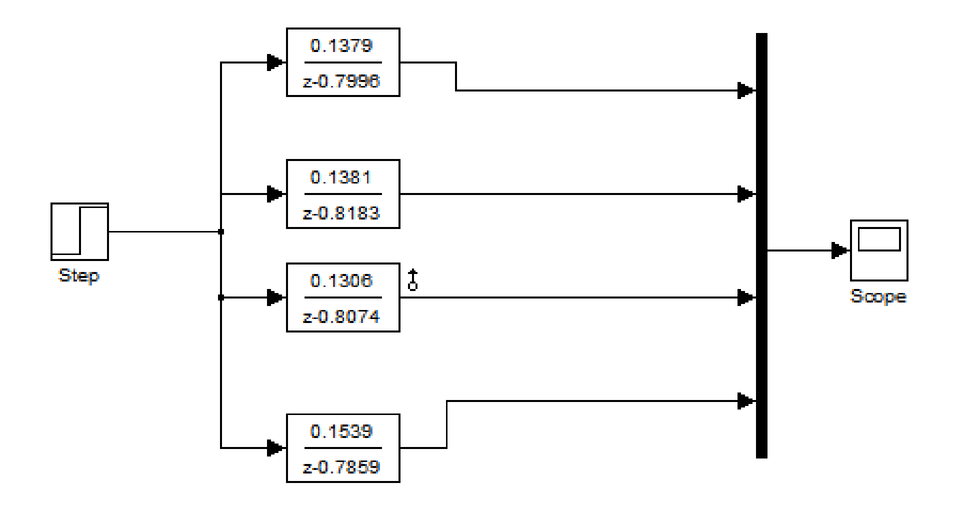


Figura 18: Simulación de los parámetros estimados en simulink en tiempo discreto de la tabla 3.

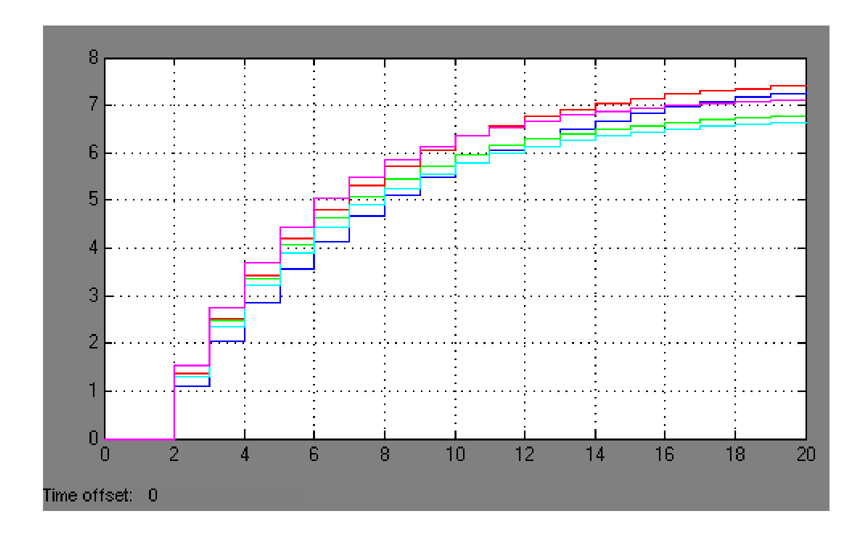


Figura 19: Respuesta en tiempo discreto de los parámetros estimados con los datos tomados con la tarjeta de adquisición de datos USB 6009 NI.

Se observa en la simulación del modelo con parámetros estimados, mediante la adquisición de datos aplicada con la tarjeta USB 6009 NI (Figura 18), y el osciloscopio digital Fluke 123 (Figura 17), que al aplicarle un escalón (step), como tipo de entrada al motor, vemos un desfase debido a la toma de datos en la adquisición, en la cual se alcanzaban a tomar valores de datos en el rango de la zona muerta, que va de 0 a 2 V.

Al tomar datos por encima de la zona muerta y por debajo de la saturación los parámetros estimados se aproximan bastante.

Validación del método:

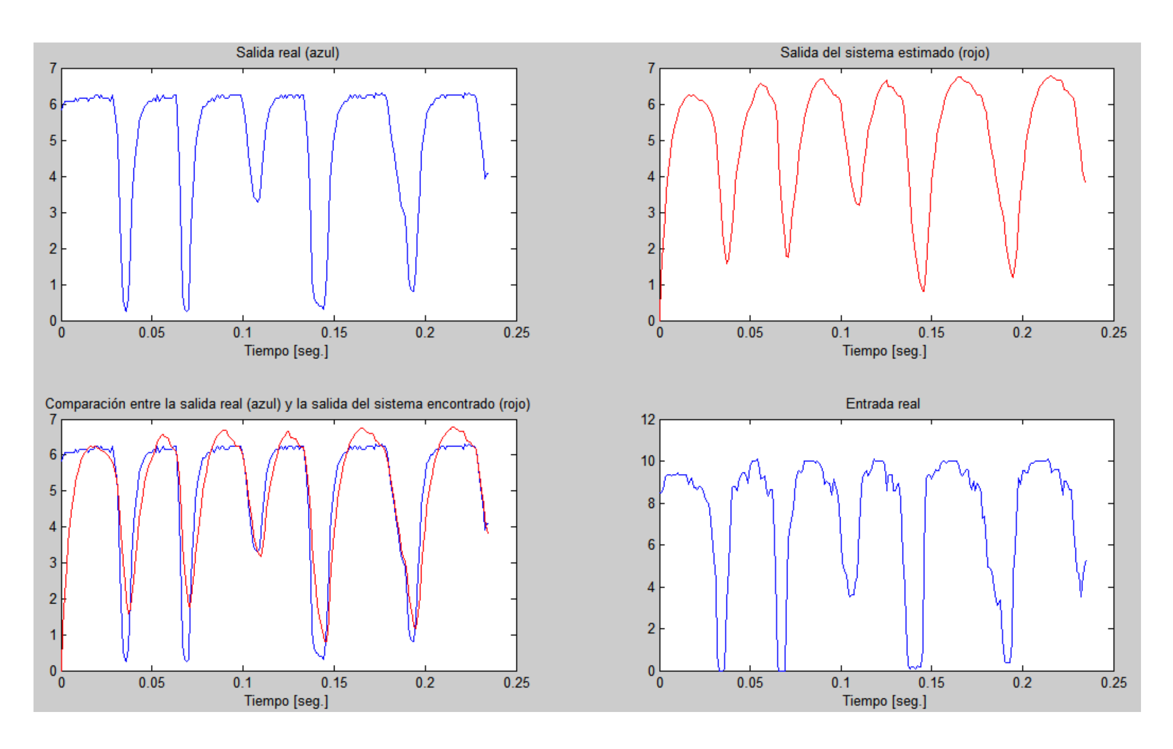


Figura 20: Comparación entre la salida estimada y la salida de la velocidad del motor.

La grafica de la salida del sistema identificado resulta muy parecida a la de la planta real, ello se comprueba al comparar la respuesta del modelo estimado con la respuesta real a la misma señal de entrada, lo anterior se ilustra en la figura 19.

Se aprecia un buen estado de precisión en la estimación de los parámetros de la entrada y salida de la velocidad del motor DC

Para afirmar la identificación, se adquirió una respuesta a escalón de la planta real,

para luego contrastarla con una simulación de iguales características aplicada al modelo estimado. El resultado se aprecia en la figura 20 y Figura 21.

Comparación de la respuesta transitoria a la planta real y los parámetros simulados:

Respuesta transitoria real aplicada al motor:

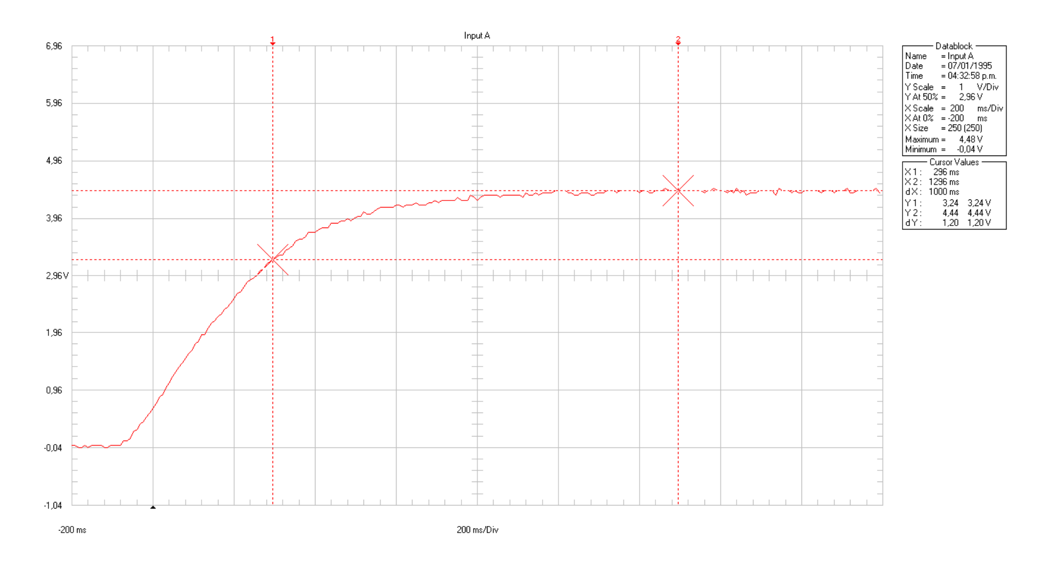


Figura 21: Respuesta al escalón de la velocidad del motor.

Simulación de los parámetros estimados en tiempo continuo:

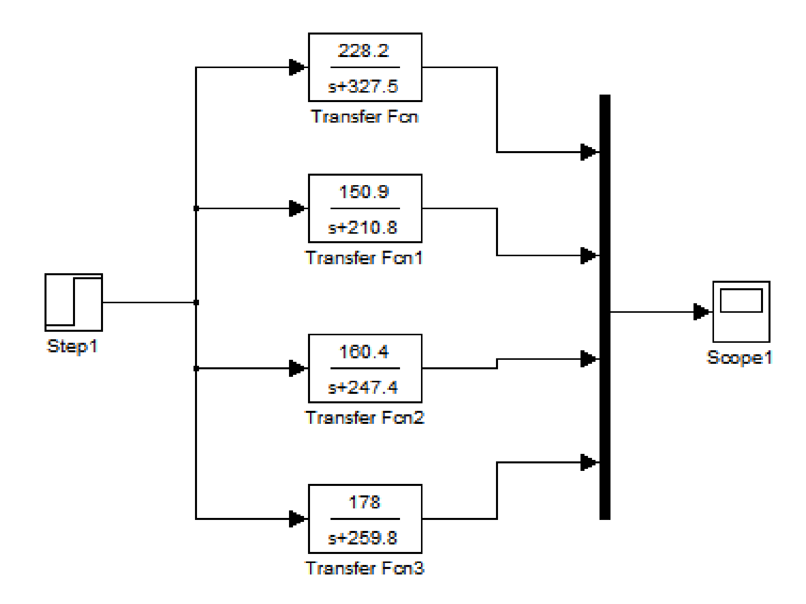


Figura 22: Simulación de los parámetros estimados en simulink en tiempo continuo de la tabla 2.

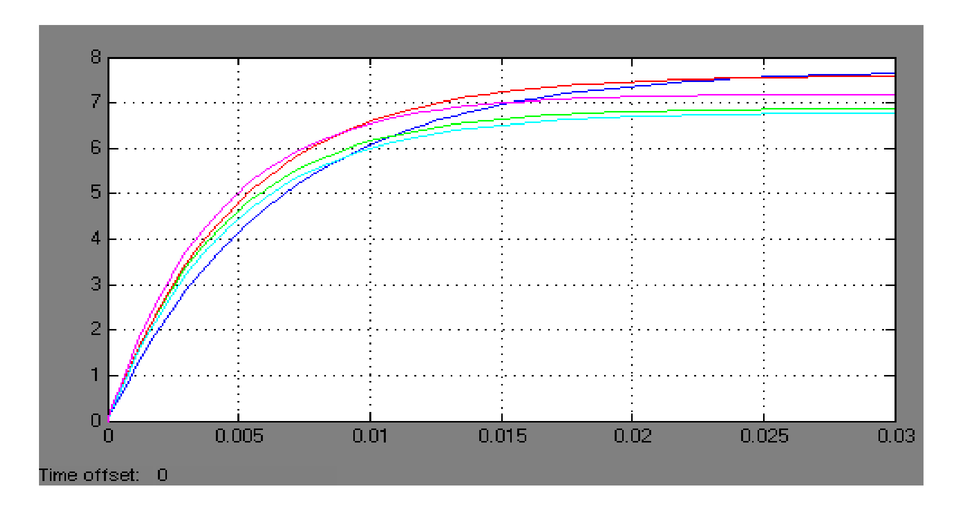


Figura 23: Respuesta a un escalón de los parámetros estimados con los datos adquiridos con la tarjeta de adquisición de datos USB 6009 NI.

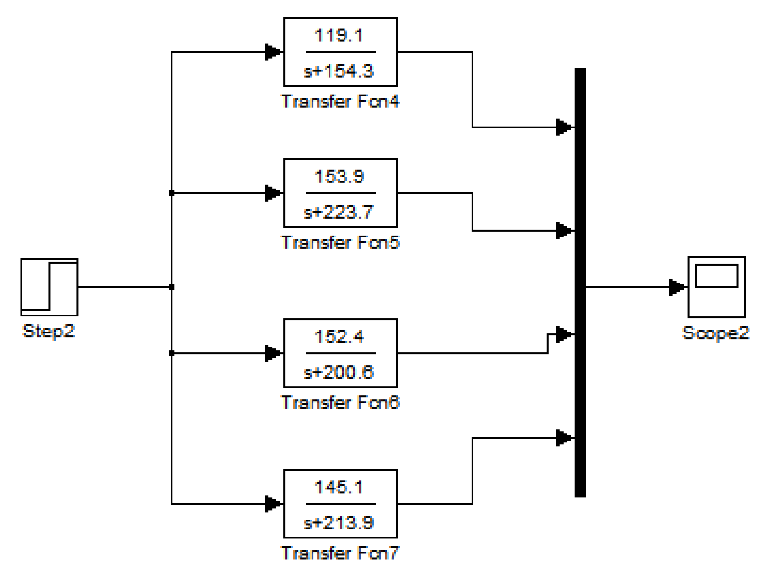


Figura 24: Simulación de los parámetros estimados en simulink en tiempo continuo de la tabla 3.

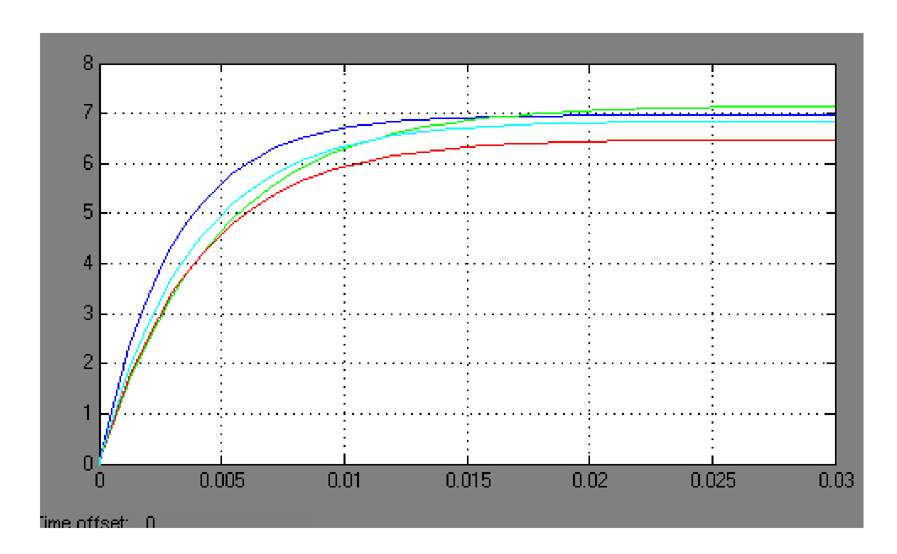


Figura 25: Respuesta al transitorio con los parámetros de la tabla 3.

Algo importante a tener en cuenta al excitar y obtener la respuesta de la velocidad del motor es la zona muerta que presenta. La zona muerta es la señal de entrada mínima que se requiere para que el sistema responda. Debido a ella, para voltajes de referencia menores de 2 V el motor no arranca; por tanto, para el control se usarán señales de referencia mayores de 2 V.

Al comparar las dos graficas de la respuesta al transitorio real (Figura 13), con la respuesta al transitorio con los parámetros simulados (Figura 14), se puede observar

un voltaje cercano a los 7 voltios en ambas graficas en el cual el transitorio se estabiliza.

Teniendo en cuenta la zona muerta del motor no coincide el tiempo de estabilización del transitorio, ya que al obtener la respuesta al transitorio real, este dura un tiempo en arrancar, tiempo en el cual toma el sistema es superar la zona muerta, superando los dos voltios, en cambio la respuesta al transitorio con los parámetros estimados, este no requiere ningún tiempo y la respuesta es inmediata.

12. CONCLUSIONES

- Se aplicó el método de identificación de parámetros por mínimos cuadrados recursivos para obtener el modelo de la velocidad del motor DC.

- Se desarrolló un programa de adquisición de datos con el software Labview para obtener los datos de entrada y salida de la velocidad del motor.

- En el método de identificación de parámetros por mínimos cuadrados recursivos es conveniente la elección del parámetro λ (factor de olvido), ya que en caso de que el sistema tenga parámetros variantes en el tiempo deberá ser menor que 1, de modo tal que pueda detectar dichos cambios. La elección de este parámetro implica un compromiso entre rapidez de convergencia del algoritmo y la consideración de la historia previa del sistema.

- Al poner en marcha la ejecución del algoritmo de mínimos cuadrados recursivos mediante Matlab y Labview se pudo observar que Labview estima el modelo matemático del control de velocidad del motor DC del modulo Feedback en menos tiempo que el software de Matlab.

- En el caso que el algoritmo no alcance a converger para la cantidad de datos entregados, es necesario volver a ejecutarlo pero esta vez inicializando los parámetros con los resultados finales de la primera iteración.

- El modelo obtenido presenta un estado de confiabilidad grande, ya que se aproxima bastante al real, reflejando un buen desempeño el algoritmo de identificación por mínimos cuadrados recursivos.

- Se utilizó el osciloscopio digital Fluke 123 para adquirir información del motor, siendo una herramienta nueva en la universidad en el campo de la adquisición de datos; Dando un resultado confiable y seguro para la toma de datos.

BIBLIOGRAFIA

[1] Definición del osciloscopio digital Fluke, [Documento Electrónico] En: http://www.delorenzo.com.mx/esp/prods_i/prods/fluke/sm190c/brochure_190-123.pdf

[2] Introducción a la Identificación de sistemas dinámicos, [Documento Electrónico] En:http://www.eupm.upc.es/~esaii/assign/ident/Tema%201.pdf

[3] Características de la tarjeta de adquisición de datos USB 6009 de NI, [Documento Electrónico] En: http://www.highlights.com.ec/docs/DAQ_USB.pdf

[4] Identificación de Sistemas, [Documento Electrónico] En: http://www.depeca.uah.es/docencia/ING-ECA/ctr_avz/VVEE12.PDFc

[6] Modelado e Identificación de sistemas, [Documento Electrónico] En: http://roboticslab.uc3m.es/publications/SGarridoPhD.pdf

[7] Identificación, Estimación y Control de Sistemas No-lineales mediante RGO, [Documento Electrónico] En: http://roboticslab.uc3m.es/publications/SGarridoPhD.pdf

[8] Identificación Paramétrica en Ingeniería Estructural, Segundo foro académico Nacional de Ingenierías y Arquitectura, Morelia, Michoacán, México, [Documento Electrónico] En: http://www.des_ia.umich.mx/~des_ia/fades06/C01.pdf

[9] Métodos de estimación parametricos y selección del modelo, [Documento Electrónico] En: http://www.eupm.upc.es/~esaii/assign/ident/Tema%203_problemes.pdf

[10] [9] Laboratorio de Control por Computador, 4º Curso. Ingeniería de Telecomunicación, [Documento Electrónico] En: http://www.esi2.us.es/~mlm/CPC/Libro_PracticasExamenes_LCPC0105.pdf

[11] LabVIEW Measurements Manual,[Documento electrónico] En: http://www.ni.com/pdf/manuals/322661a.pdf

[16] Guía básica de uso de la tarjeta NI-USB6008, Semestre 2008-2, Profesores: Denise Criado, Nicolas Mujica y Raul Munoz, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

PHILLIPS, CHARLES L. "Sistemas de control digital : análisis y diseño / Charles L. Phillips, H. Troy Nagle ; [versión castellana de Carlos Jaén Fernández]" México : Gustavo Gili, 1993 ([2ª ed.])

Franklin G., Powell D., Workman M., Powell D., Digital Control of Dynamic Systems, Addison Wesley, 1.997.

Durán Erika, Tesis, Estimación de parámetros de sistemas lineales, 2007

ANEXOS

ANEXO A. PROGRAMA DE MINIMOS CUADRADOS RECURSIVOS REALIZADO EN MATLAB:

```
%Minimos cuadrados Recursivos
%Autor: Edison Alejandro Alvarez Pimiento
echo off;
datos=xlsread('datos');
orden=0;
%Ingreso del orden del sistema a estimar
Subtitulo={'Orden del sistema:'};
def={'2'};
norden=inputdlg(Subtitulo,'Orden del sistema',1,def);
orden=2*str2double(norden);
%Caso de acuerdo al orden del sistema
switch(orden/2)
case 1 %Para el caso de orden 1
Subtitulo={'Factor de olvido','a1','b1','Periodo de muestreo'};
def={'0.0000001','0','0','0.001'};
eaap=inputdlg(Subtitulo,'Valores iniciales',1,def);
lam=str2double(eaap(1));
a1_ini=str2double(eaap(2));
b1_ini=str2double(eaap(3));
muestreo=str2double(eaap(4));
estim=[a1_ini b1_ini]';
 case 2 %Para el caso de orden 2
subtitulo={'Factor de olvido','a1','a2','b1','b2','Periodo de muestreo'};
def={'0.9','0','0','0','0','0.001'};
eaap=inputdlg(subtitulo,'Valores iniciales',1,def);
lam=str2double(eaap(1));
a1_ini=str2double(eaap(2));
a2_ini=str2double(eaap(3));
b1_ini=str2double(eaap(4));
b2_ini=str2double(eaap(5));
muestreo=str2double(eaap(6));
estim=[a1_ini a2_ini b1_ini b2_ini]';
case 3 %Para el caso de orden 3
Subtitulo={'Factor de olvido','a1','a2','a3','b1','b2','b3','Periodo de muestreo'};
def={'0.9','0','0','0','0','0','0','0.001'};
eaap=inputdlg(Subtitulo,'Valores iniciales',1,def);
lam=str2double(eaap(1));
a1_ini=str2double(eaap(2));
a2_ini=str2double(eaap(3));
a3_ini=str2double(eaap(4));
b1_ini=str2double(eaap(5));
b2_ini=str2double(eaap(6));
b3_ini=str2double(eaap(7));
```

```
muestreo=str2double(eaap(8));
estim=[a1_ini a2_ini a3_ini b1_ini b2_ini b3_ini]';
otherwise %En cualquier otro caso
msgbox('Orden no válido para este programa','Advertencia','warn')
end
sal=datos(:,2);
ent=datos(:,1);
%ent=ent.^2;
%sal=sal.*(-1);
P_ini=998;
 %Algoritmo recursivo
P=P_ini*eye(orden);
%Tamaño del archivo
tam_matriz=size(datos);
tam=tam_matriz(1,1);
pr=waitbar(0,'Wait... please!!!');
Fi_sal=0;
Fi_ent=0;
for i=(orden+1):tam,
for r=1:(orden/2),
Fi_sal(r)=[-sal(i-r)];
Fi_ent(r)=[ent(i-r)];
end
Fi=[Fi_sal Fi_ent]';
K=(P*Fi)/(lam+(Fi)'*P*Fi);
P=(P-(P*Fi*(Fi)'*P)/(lam+(Fi)'*P*Fi))/lam;
e=sal(i)-(Fi)'*estim;
estim=estim+K*e;
waitbar(i/tam,pr);
end
close(pr);
%Función de Transferencia en tiempo discreto de acuerdo al orden......
switch(orden/2)
case 1
disp('El sistema en tiempo discreto (orden 1) es el siguiente:');
Z=tf([estim(2)],[1 estim(1)],muestreo)
disp('El sistema en tiempo continuo (orden 1) es el siguiente:');
S=d2c(Z,'zoh')
  case 2
disp('El sistema en tiempo discreto (orden 2) es el siguiente:');
Z=tf([estim(3) estim(4)],[1 estim(1) estim(2)],muestreo)
disp('El sistema en tiempo continuo (orden 2) es el siguiente:');
S=d2c(Z,'zoh')
case 3
disp('El sistema en tiempo discreto (orden 3) es el siguiente:');
Z=tf([estim(4) estim(5) estim(6)],[1 estim(1) estim(2) estim(3)],muestreo)
disp('El sistema en tiempo continuo (orden 3) es el siguiente:');
S=d2c(Z,'zoh')
```

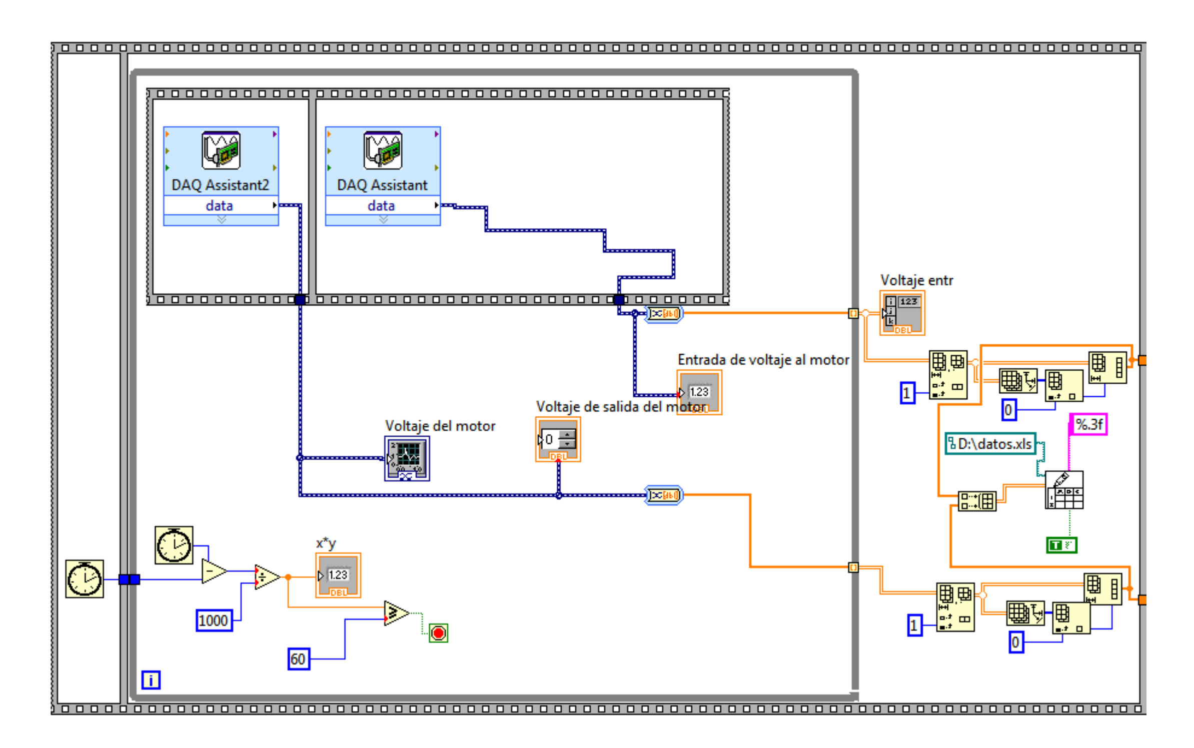
```
end
[sal_sim,t_sim]=lsim(Z,ent);
figure;
subplot(2,2,1);
plot(t_sim,sal);
title('Salida real (azul)');
xlabel('Tiempo [seg.]');
subplot(2,2,2);
plot(t_sim,sal_sim,'r');
title('Salida del sistema estimado (rojo)');
xlabel('Tiempo [seg.]');
subplot(2,2,3);
plot(t_sim,sal);
hold;
plot(t_sim,sal_sim,'r');
title('Comparación entre la salida real (azul) y la salida del sistema encontrado (rojo)');
xlabel('Tiempo [seg.]');
subplot(2,2,4);
plot(t_sim,ent);
title('Entrada real ');
xlabel('Tiempo [seg.]');
echo on;
%Fin del Programa
```

ANEXO B. PROGRAMA DE MINIMOS CUADRADOS RECURSIVOS REALIZADO EN LABVIEW

ANEXO B.1. PÁGINA PRINCIPAL DEL PROGRAMA

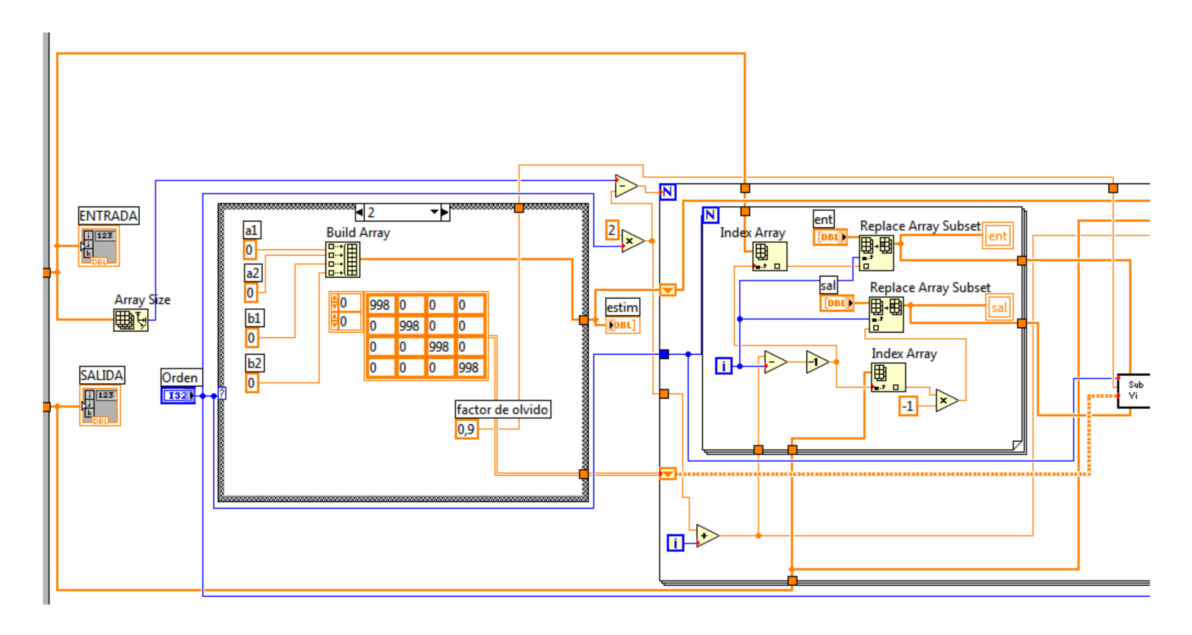


ANEXO B.2. ADQUISICIÓN DE DATOS CON LABVIEW

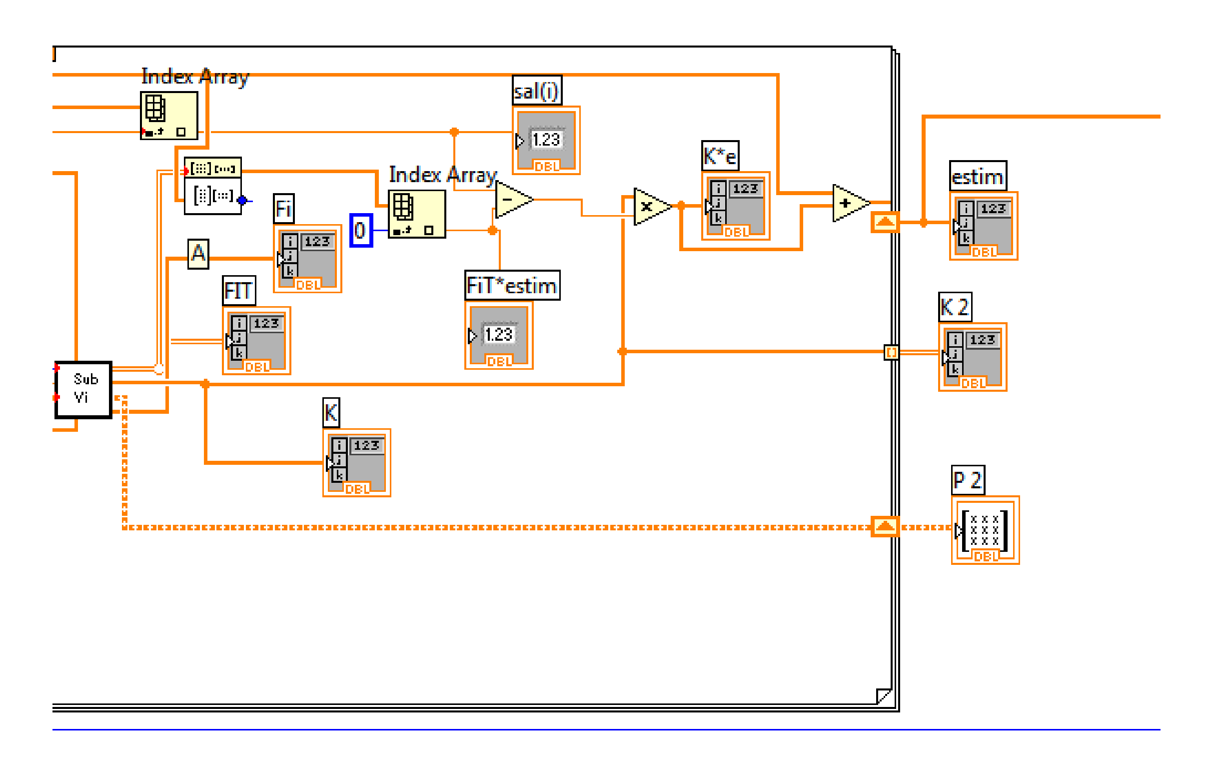


PROGRAMA DE LA ESTIMACIÓN PARAMETRICA POR MINIMOS CUADRADOS RECURSIVOS

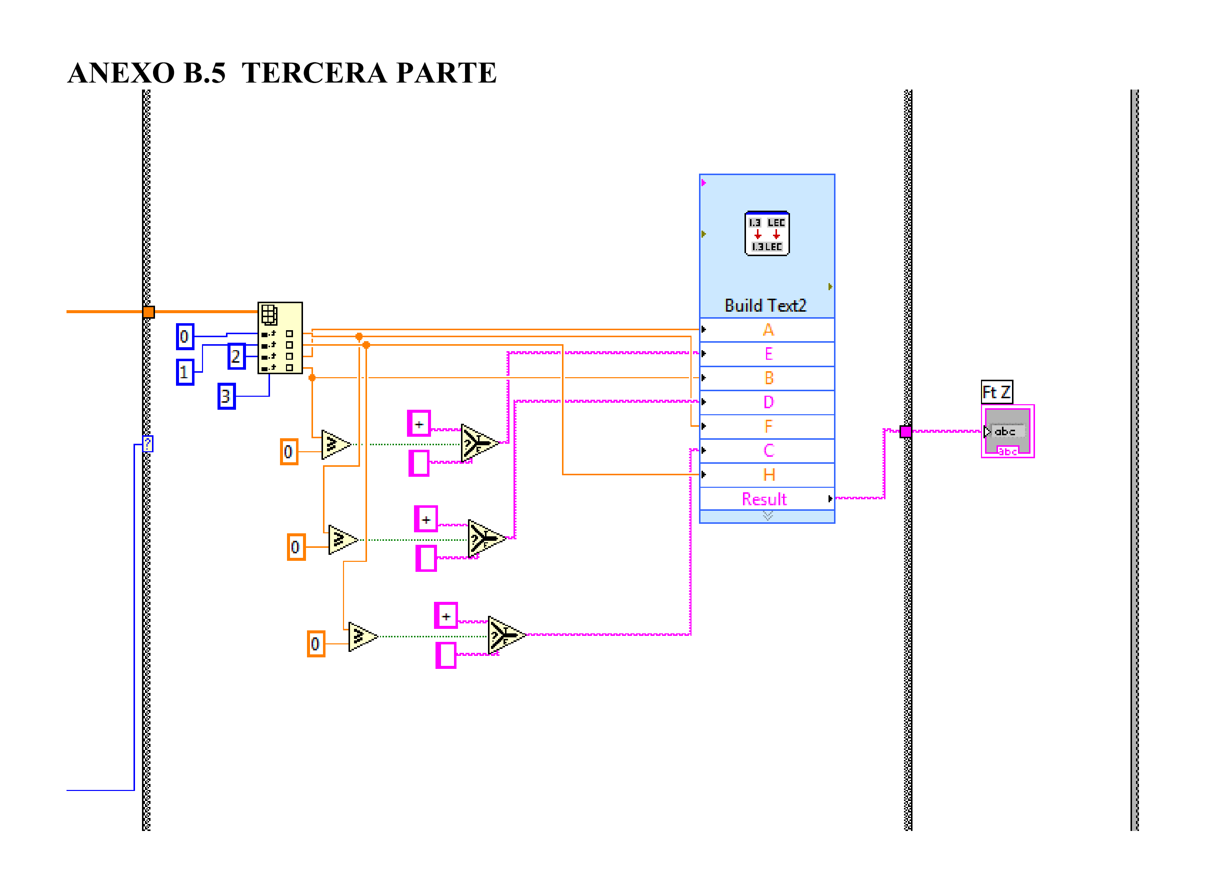
ANEXO B.3. PRIMERA PARTE



ANEXO B.4. SEGUNDA PARTE



ANEXO B.5 TERCERA PARTE



ANEXO B.6 CUARTA PARTE (SUB VI)

